

VISIT...

LANZAROTE
Caliente.COM

МИНИСТЕРСТВО ТЯЖЕЛОГО, ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО
И ТРАНСПОРТНОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ СССР

ЦЕНТРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
И ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСКИЙ КОТЛОТУРБИННЫЙ
ИНСТИТУТ ИМЕНИ И. И. ПОЛЗУНОВА
(ЦКТИ)

МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ
И ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ СССР

ВСЕСОЮЗНЫЙ ДВАЖДЫ ОРДЕНА ТРУДОВОГО
КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ НАУЧНО-
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ИМЕНИ
Ф. Э. ДЗЕРЖИНСКОГО
(ВТИ)

ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ КОТЕЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ

(НОРМАТИВНЫЙ МЕТОД)

Издание 2-е, переработанное

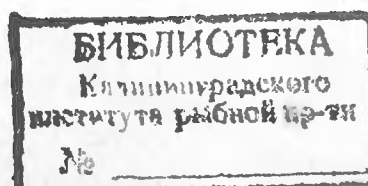
ПОД РЕДАКЦИЕЙ

доктора техн. наук Н. В. КУЗНЕЦОВА, доктора техн. наук В. В. МИТОРА,
канд. техн. наук И. Е. ДУБОВСКОГО, канд. техн. наук Э. С. КАРАСИНОЙ



«ЭНЕРГИЯ»
Москва 1973

Коллектив авторов: доктор техн. наук Н. В. КУЗНЕЦОВ, доктор техн. наук В. В. МИТОР, канд. техн. наук И. Е. ДУБОВСКИЙ, канд. техн. наук Э. С. КАРАСИНА, канд. техн. наук М. М. РУБИН, доктор техн. наук А. Г. БЛОХ, доктор техн. наук Ю. Л. МАРШАК, канд. техн. наук Р. А. ПЕТРОСЯН, доктор техн. наук В. А. ЛОКШИН, канд. техн. наук С. И. МОЧАН, доктор техн. наук П. Н. КЕНДЫСЬ.



Тепловой расчет котельных агрегатов (Нормативный метод). Под ред. Н. В. Кузнецова и др., М., «Энергия», 1973.

296 с. с ил.

Данный Нормативный метод теплового расчета котельных агрегатов, составленный совместно Всесоюзным теплотехническим и Центральным котлотурбинным институтами и утвержденный Научно-техническими советами Минтяжмаша и Минэнерго, выпущен для использования предприятиями этих министерств взамен изданного Госэнергоиздатом в 1957 г. Одновременно готовится новое, обязательное для применения, издание Нормативного метода с использованием единиц, предусмотренных государственным стандартом «Единицы физических величин».

Основной текст книги содержит методику теплового расчета котельных агрегатов с необходимыми расчетными таблицами и номограммами. В приложениях даны краткие указания по проектированию котельных агрегатов, расчету и проектированию пароохладителей, расчету температуры стенки труб и воздухоподогревателя с промежуточным теплоносителем, а также примеры расчетов.

Книга предназначена для проектировщиков и конструкторов котельных агрегатов, инженеров электростанций и наладочных организаций, для преподавателей и студентов высших технических учебных заведений.

Т $\frac{0333-075}{051(01)-73}$ 11-73

6П2.22

© Издательство «Энергия», 1973 г.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Данный Нормативный метод теплового расчета котельных агрегатов разработан взамен изданного в 1957 г. За истекший период времени котельная техника получила дальнейшее широкое развитие: выросла производительность котельных агрегатов; стали широко применяться сверхкритические параметры пара; введен промежуточный перегрев; в качестве основной принята блочная компоновка котел — турбина; существенные изменения произошли в топливной базе тепловых электростанций за счет привлечения и более широкого использования новых топлив.

Одновременно с этим научно-исследовательскими институтами выполнены обширные и разносторонние исследования, а заводами и электростанциями накоплен опыт проектирования и эксплуатации, что дало возможность существенно усовершенствовать методику расчета и проектные рекомендации. Все это потребовало переработки нормативного метода теплового расчета котельных агрегатов.

Излагаемый ниже метод теплового расчета базируется в основном на работах ВТИ и ЦКТИ и суммирует результаты теплотехнических исследований, выполненных институтами за последние 10—15 лет.

Основные принципы построения метода расчета и распределение материалов по главам сохранены такими же, как в издании 1957 г.

В данном Нормативном методе используются единицы физических величин, основанные, главным образом, на килограмм-силе и калории. Комитетом стандартов эти единицы не допускаются для самостоятельного применения, а к практическому использованию с 1970 г. рекомендованы единицы системы СИ (проект государственного стандарта СССР «Единицы физических величин»).

Учитывая необходимость скорейшего внедрения новой методики теплового расчета котельных агрегатов, данный Нормативный метод выпускается без коренных изменений единиц физических величин. Одновременно авторами подготавливается новая редакция Нормативного метода в соответствии с требованиями государственного стандарта «Единицы физических величин». Для возможности выполнения тепловых расчетов котельных агрегатов в единицах СИ ниже приводится таблица соотношений между единицами.

Нормы состоят из текста, таблиц, расчетных номограмм и приложений.

В главе «Топливо» приведены новые расчетные характеристики отечественных топлив, основанные на результатах исследований, выполненных ВТИ. Материалы этой главы составлены Т. А. Зикеевым, И. И. Матвеевой, А. Я. Леоновой, В. М. Третьяковым, В. С. Вдовченко, И. Я. Залкиным и Р. А. Липштейном.

В следующей главе приведены уточненные физические характеристики рабочих тел, используемые в тепловом расчете котельного агрегата, и новые таблицы термодинамических свойств воды и водяного пара; эти

материалы представлены С. Л. Ривкиным и А. М. Сиротой.

Новые расчетные характеристики топок разработаны М. М. Рубиным, Ю. Л. Маршаком и П. Н. Кендысем при участии Е. В. Нечаева, А. Д. Горбаненко, Я. П. Сторожука, А. Н. Лебедева, С. Л. Шагаловой, И. Е. Дубовского, С. Н. Миронова, М. А. Полячкина, Н. С. Рассудова и И. К. Барштейна.

Методика расчета теплообмена в топочных камерах разработана в двух вариантах: в первом, разработанном ЦКТИ, сохранена формула А. М. Гурвича, основанная на применении теории подобия к топочным процессам; второй, представленный ВТИ и ЭНИН, базируется на использовании уравнений теплообмена (Стефана — Больцмана) и теплового баланса топочной камеры. Оба метода разработаны как для однокамерных, так и для двухкамерных топок.

В качестве нормативных рекомендуются: для расчета теплообмена в однокамерных и полукотельных топках — метод ЦКТИ, для расчета теплообмена в двухкамерных топках — метод ВТИ — ЭНИН. Соответственно составлен текст гл. 6, а части этих методик, не вошедшие в основной текст «Нормативного метода», даны в приложениях V и VI. Они могут быть использованы для сравнительных расчетов и анализа экспериментальных данных.

Методика ЦКТИ разработана В. В. Митором, М. М. Рубиным, А. Г. Блохом (ЦКТИ) и П. Н. Кендысем (ЛПИ). Позонный метод расчета топок и рекомендации по определению коэффициентов тепловой эффективности экранов разработаны В. В. Митором; рекомендации по расчету теплообмена в топках с жидким шлакоудалением — М. М. Рубиным; расчет степени черноты топки и эмиссионных свойств факела — А. Г. Блохом и В. В. Митором. Расчет излучения для слоевых топок и топок малой мощности на мазуте и газе уточнен В. П. Артемьевым.

Методика учета неравномерной освещенности двухсветных экранов и ширм разработана И. Р. Микком (ТПИ).

Методика расчета лучистого теплообмена ВТИ — ЭНИН составлена Э. С. Карасиной, А. С. Невским, С. С. Филимоновым, В. Н. Андриановым и Б. А. Хрусталевым. Методика расчета теплообмена предтопок (камер сгорания) разработана Ю. Л. Маршаком.

Рекомендации по определению коэффициентов распределения локальных тепловых нагрузок в топках составлены Э. С. Карасиной на основании опытных данных ВТИ и ЦКТИ.

В гл. 7 суммированы результаты исследований теплообмена в конвективных и ширмовых поверхностях нагрева и результаты промышленных испытаний котельных агрегатов. Данные о коэффициентах теплоотдачи конвекцией обобщены: при поперечном омывании трубных пучков — В. А. Локшиным, А. Я. Антоновым, С. И. Мочаном и О. Г. Ревзиной; при продольном внешнем обтекании — В. М. Боришанским, Э. В. Фир-

совой, В. А. Локшиным и А. Я. Антоновым; при течении внутри труб — В. Л. Лельчуком, Н. В. Тарасовой, Г. И. Елфимовым и А. Г. Калачевой; для оребренных поверхностей нагрева — В. А. Локшиным, С. Н. Тулиным, В. Ф. Юдиным, Л. С. Тахтаровой.

Методика расчета ширмовых перегревателей разработана Э. С. Карасиной и И. Е. Дубовским.

Обобщение данных о загрязнении конвективных поверхностей нагрева при сжигании твердых, жидких и газообразных топлив на основе промышленных и стендовых исследований выполнено И. Е. Дубовским и Р. А. Петросяном с использованием данных Н. В. Кузнецова и А. З. Щербакова по загрязнению гладкотрубных шахматных пучков при сжигании твердых топлив. Рекомендации по определению коэффициентов загрязнения, тепловой эффективности и использования конвективных и ширмовых поверхностей нагрева разработаны И. Е. Дубовским, Р. А. Петросяном, Э. С. Карасиной и В. А. Петровым.

Уточненная методика расчета регенеративных воздухоподогревателей разработана В. С. Назаренко, И. Е. Дубовским и В. К. Мигаем.

Раздел «Температурный напор» сохранен в редакции 1957 г.

Текст гл. 2—5 и 8 уточнен Э. С. Карасиной, И. Е. Дубовским и С. И. Мочаном. Текст гл. 6 составлен В. В. Митором, М. М. Рубиным, А. Г. Блохом, Э. С. Карасиной и П. Н. Кендысем, гл. 7 — И. Е. Дубовским и Э. С. Карасиной.

Метод расчета пароохладителей уточнен С. И. Мочаном и О. Г. Ревзиной.

Метод расчета температуры металла стенки труб составлен С. И. Мочаном и В. А. Локшиным при участии Э. М. Тынтарева.

Методика расчета температуры стенки ошипованной трубы составлена Ю. Л. Маршаком, А. В. Рыжаковым, М. М. Рубиным, Л. М. Сорокопудом, А. Л. Бычковским.

Методика расчета воздухоподогревателей с промежуточным теплоносителем составлена А. Ф. Гавриловым.

Примерные тепловые расчеты котельных агрегатов

выполнены З. В. Лесниковской, Е. Я. Титовой и В. А. Гармаш.

Приложение по автоматизации поверочного теплового расчета составлено ЦКТИ — Э. М. Тынтаревым, С. И. Мочаном, Г. Н. Терушкиной и ЦНИИКА — М. П. Симою, Ф. А. Вульманом, Т. Б. Сизовой и Н. Д. Михейкиной.

Краткие указания по проектированию топочных устройств составили Ю. Л. Маршак, М. М. Рубин, П. Н. Кендысь при участии К. Ф. Роддатиса, А. Д. Горбаненко, Е. В. Нечаева, Я. П. Сторожука, В. П. Романина, С. Л. Шагаловой, А. Н. Лебедева, М. А. Полякина, А. Н. Ковригина, Б. Д. Кацнельсона, С. Н. Миронова, И. М. Точилкина.

Краткие указания по проектированию поверхностей нагрева составили И. Е. Дубовский и Р. А. Петросян при участии С. И. Мочана.

Метод расчета предельно допустимых скоростей газов в конвективных поверхностях составил И. Е. Дубовский.

Определение тепловых характеристик топков и коэффициентов тепловой эффективности и загрязнения поверхностей нагрева производилось по материалам промышленных испытаний, выполненных ЦКТИ и ВТИ.

В подготовке материалов для Нормативного метода, помимо авторов, принимали участие: А. И. Дворецкий (гл. 3, 5), Н. С. Рассудов (гл. 5 и приложение II), И. И. Волков, В. П. Ромадин, П. Г. Сальков (гл. 5), А. А. Абрютин (гл. 6 и § 7-Б, д), В. П. Артемьев, (гл. 5), А. А. Абрютин (гл. 6 и § 7-Б, д), В. П. Артемьев, Е. П. Карасев, О. А. Резник, Н. М. Савельева, С. А. Савицкая, Л. М. Сорокопуд, А. Б. Стернина, Н. Н. Титова (гл. 6), В. К. Мигай (§ 7-Б, б), В. С. Назаренко (§ 7-Б, б, д), В. П. Иванов, Я. М. Карасик, В. В. Компанец, М. И. Корнеев, И. И. Надыров, М. В. Патронова, В. А. Петров, Е. И. Прутковский, В. А. Синицкая, В. Н. Фомина, П. А. Шемякин (§ 7-Б, д), В. Н. Черняк (приложения II и III), Л. Е. Апатовский, А. Е. Гельтман, Г. А. Кемельман, Л. И. Кропп, Е. И. Сухарев, А. В. Чубарова (приложение II), М. Г. Крюкова (приложение V), Б. Н. Пуганов (приложение III), Е. Я. Титова, А. Д. Горбаненко (гл. 2 и 5).

Значения единиц, основанных на килограмм-силе и калории, в единицах СИ, кратных и дольных от них

Наименование величин	Обозначение	Значение в единицах, основанных на килограмм-силе и калории	Значение в единицах СИ, кратных и дольных от них
Давление	p	1 кгс/см^2	$0,0980665 \text{ МПа}$
Энтальпия (удельная)	I, i	1 ккал/кг	$4,1868 \text{ КДж/кг}$
Теплоемкость (удельная)	c	$1 \text{ ккал/(кг} \cdot ^\circ\text{С)}$ $1 \text{ ккал/(м}^3 \cdot ^\circ\text{С)}$	$4,1868 \text{ КДж/(кг} \cdot \text{К)}$ $4,1868 \text{ КДж/(м}^3 \cdot \text{К)}$
Коэффициент динамической вязкости	μ	1 кгс/сек/м^2	$9,80665 \text{ Па} \cdot \text{с}$
Коэффициент теплопроводности	λ	$1 \text{ ккал/(м} \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{С)}$	$1,163 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$
Коэффициент теплоотдачи, теплопередачи	α, k	$1 \text{ ккал/(м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{С)}$	$1,163 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$
Тепловое напряжение объема топки	q_v	$1 \text{ ккал/(м}^3 \cdot \text{ч)}$	$1,163 \text{ Вт/м}^3$
Тепловое напряжение площади сечения топки	q_F	$1 \text{ ккал/(м}^2 \cdot \text{ч)}$	$1,163 \text{ Вт/м}^2$

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3	Приложение VIII. Примерные тепловые расчеты	95
Глава первая. Общие положения	7	А. Тепловой расчет котельного агрегата $D=$ $=950$ т/ч, работающего на донецком угле марки Г (отсев)	95
Глава вторая. Топливо	7	Б. Позонный расчет топочной камеры	112
2-А. Твердое и жидкое топливо	7	В. Расчет топочной камеры с ширмами, вклю- ченными в активный объем топки	119
2-Б. Газообразное топливо	10	Г. Примеры расчета температуры металла сте- нок труб	122
2-В. Смеси топлив	11	Д. Тепловой расчет двухкамерной топки ко- тельного агрегата $D=220$ т/ч на пыли ангреноского бурого угля	136
2-Г. Расчетные характеристики топлива	11	Приложение IX. Автоматизация поверочного теп- лового расчета	145
Глава третья. Физические характеристики рабочих тел, используемые в тепловом расчете котельных агрегатов	13	А. Общие положения	145
Глава четвертая. Объемы и энтальпии воз- духа и продуктов сгорания	15	Б. Математические методы решения задачи на ЭВМ и рекомендации по программирова- нию	146
4-А. Расчет объемов и энтальпий	15	В. Общая расчетная схема котлоагрегата	151
4-Б. Коэффициент избытка воздуха и присосы в котельном агрегате	19	Г. Исходная информация для теплового рас- чета котлоагрегата на ЭВМ	151
Глава пятая. Тепловой баланс котельного агрегата	20	Д. Объем и вид информации по результатам расчета	151
Глава шестая. Расчет теплообмена в топке	22		
6-А. Геометрические характеристики топок	22		
6-Б. Степень черноты факела	24		
6-В. Расчет теплообмена в однокамерных и по- луоткрытых топках	26		
6-Г. Расчет теплообмена в двухкамерных топ- ках	29		
6-Д. Позонный тепловой расчет топочной ка- меры	33		
Глава седьмая. Расчет конвективных и шир- мовых поверхностей нагрева	35		
7-А. Основные уравнения	35		
7-Б. Коэффициент теплопередачи	36		
7-В. Температурный напор	49		
Глава восьмая. Рекомендации по методике расчета котельного агрегата	53		
8-А. Порядок и последовательность расчета	53		
8-Б. Расчет топки	55		
8-В. Расчет перегревателя	56		
8-Г. Расчет переходной зоны прямоточных котлов докритического давления	58		
8-Д. Расчет котельных пучков и фестона	58		
8-Е. Расчет вторичного перегревателя	59		
8-Ж. Расчет экономайзера	59		
8-З. Расчет воздухоподогревателя	59		
		ТАБЛИЦЫ	
ПРИЛОЖЕНИЯ		I. Расчетные характеристики твердых и жидких топлив	152
Приложение I. Условные обозначения	61	II. Расчетные характеристики газообразных топлив	168
Приложение II. Краткие указания по проектиро- ванию топочных устройств и поверхностей на- грева	65	III. Средняя теплоемкость воздуха и газов c , $\text{ккал}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C})$, от 0 до t , $^\circ\text{C}$	170
А. Топочные устройства	65	IV. Физические характеристики воздуха и ды- мовых газов среднего состава	170
Б. Поверхности нагрева	71	V. Коэффициент динамической вязкости воды и водяного пара $\mu \cdot 10^8$, $(\text{кгс} \cdot \text{сек})/\text{м}^2$	171
Приложение III. Указания по проектированию и расчету пароохладителей и теплообменников	76	VI. Коэффициент теплопроводности воды и водяного пара $\lambda \cdot 10^2$, $\text{ккал}/(\text{м} \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C})$	172
А. Впрыскивающие пароохладители	76	VII. Критерий R_g физических свойств воды и водяного пара	174
Б. Паропаровые теплообменники	76	VIII. Физические характеристики газообразных топлив	175
В. Газопаропаровые теплообменники	77	IX. Средняя теплоемкость горючих газов c , $\text{ккал}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C})$, от 0 до t , $^\circ\text{C}$	175
Г. Теплообменники для получения «собствен- ного» конденсата и поверхностные паро- охладители	77	X. Физические характеристики мазутов	175
Приложение IV. Определение расчетной темпера- туры металла стенок труб	79	Ха. Коэффициент теплопроводности мазутов, $\text{ккал}/(\text{м} \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C})$	175
Рекомендации по расчету температуры сте- нок труб цельносварных панелей	86	XI. Объемы воздуха и продуктов сгорания твердых и жидких топлив, $\text{м}^3/\text{кг}$, при $\alpha=1$, 0°C и 760 мм рт. ст.	176
Расчет при тепловой и (или) геометрической асимметрии	87	XII. Объемы воздуха и продуктов сгорания газообразных топлив, $\text{м}^3/\text{м}^3$, при $\alpha=1$, 0°C и 760 мм рт. ст.	179
Рекомендации по расчету температуры стенки ошипованной трубы	88	XIII. Энтальпии 1 м^3 воздуха и газов и 1 кг зола	179
Приложение V. Расчет теплообмена в однокамер- ных топках по методу ВТИ—ЭНИН	88	XIV. Энтальпии воздуха и продуктов сгорания на 1 кг твердых и жидких топлив при $\alpha=1$, $\text{ккал}/\text{кг}$	180
Приложение VI. Расчет теплообмена в двухкамер- ных топках по методу ЦКТИ	93	XV. Энтальпии воздуха и продуктов сгорания на 1 м^3 газообразных топлив при $\alpha=1$, 0°C и 760 мм рт. ст.	192
Приложение VII. Расчет воздухоподогревателя с промежуточным теплоносителем	93	XVI. А. Присосы воздуха в газоходах котель- ных агрегатов при номинальной нагрузке Б. Средние значения $\Delta\alpha_{\text{пл}}$ для систем пы- леприготовления	198 199
		XVII. А. Расчетные характеристики камерных топок с твердым шлакоудалением для ко- тельных агрегатов производительностью 75 т/ч и выше при сжигании пылевидного топлива Б. Расчетные характеристики камерных топок с твердым шлакоудалением для ко- тельных агрегатов производительностью	200

50—25 т/ч при сжигании пылевидного топлива	200
XVIII. Расчетные характеристики открытых и полукотельных топков с жидким шлакоудалением для котельных агрегатов производительностью выше 75 т/ч	200
XIX. Расчетные характеристики циклонных и двухкамерных топков	201
XX. Расчетные характеристики камерных топков котлов производительностью выше 75 т/ч для сжигания горючих газов и мазутов	201
XXI. Расчетные характеристики слоевых механизированных топков	202
XXII. Степень выгорания топлива β по высоте топки (по поданному топливу)	204
XXIII. Удельные объемы и энтальпии сухого насыщенного пара и воды на кривой насыщения	204
XXIV. Удельные объемы и энтальпии воды	205
XXV. Удельные объемы и энтальпии перегретого пара при докритическом давлении	209
XXVI. Удельные объемы и энтальпии при сверхкритическом давлении	221
XXVII. Удельные объемы и энтальпии в критической и околокритической областях	226

НОМОГРАММЫ

1. Угловые коэффициенты экранов	240
2. Степень черноты продуктов сгорания	241
3. К определению коэффициента ослабления лучей трехатомными газами	242
4. К определению коэффициента ослабления лучей золовыми частицами	243
5. Коэффициенты, характеризующие неравномерность освещенности ширм	244
6. Степень черноты камерных топков	243
7. Расчет теплопередачи в однокамерных и полукотельных топках	245
8. Безразмерная разность температур в шлаковой пленке	246
9. Эффективная поглощательная способность гладкотрубных экранов	247
10. Расчет теплопередачи в камере охлаждения двухкамерных топков, а также в однокамерных и полукотельных топках по методу ВТИ—ЭНИН	248
11. Коэффициент распределения тепловосприятия по высоте топки	247
12. Коэффициент теплоотдачи конвекцией при поперечном омывании коридорных гладкотрубных пучков	250
13. Коэффициент теплоотдачи конвекцией при поперечном омывании шахматных гладкотрубных пучков	252
14. Коэффициент теплоотдачи конвекцией при продольном омывании для воздуха и дымовых газов	254
15. Коэффициент теплоотдачи конвекцией при продольном омывании для перегретого пара в докритической области	256
16. Коэффициент теплоотдачи конвекцией при продольном омывании для некипящей воды	257
17. Коэффициент теплоотдачи конвекцией для пластинчатых воздухоподогревателей при $Re < 10\,000$	260
18. Коэффициент теплоотдачи конвекцией для регенеративных воздухоподогревателей	258
19. Коэффициент теплоотдачи излучением	261
20. Коэффициент теплопередачи чугунных ребристых водяных экономайзеров ВТИ и ЦККБ	262
21. Приведенные коэффициенты теплоотдачи с газовой стороны чугунных ребристых и ребристо-зубчатых воздухоподогревателей	263
22. Приведенные коэффициенты теплоотдачи с воздушной стороны чугунных ребристых и ребристо-зубчатых воздухоподогревателей	264

23. Приведенные коэффициенты теплоотдачи чугунного ребристого плитчатого воздухоподогревателя Кусинского завода	265
24. Коэффициент эффективности ребер	266
25. Коэффициент теплоотдачи конвекцией коридорных пучков труб с поперечными ленточными и шайбовыми ребрами	267
26. Коэффициент теплоотдачи конвекцией шахматных пучков труб с поперечными ленточными и шайбовыми ребрами	268
27. Коэффициент теплоотдачи конвекцией шахматных пучков труб с плавниками	269
28. Коэффициент теплоотдачи конвекцией шахматных пучков труб с проволочным оребрением	270
29. Температурный напор при последовательно-смешанном токе	271
30. Температурный напор при параллельно-смешанном токе	271
31. Температурный напор при перекрестном токе	272
32. Определение длины защитной рубашки впрыскивающих парохладителей	273
33. Коэффициент теплоотдачи при конденсации пара в пучке горизонтальных труб	274
34. Коэффициент теплоотдачи при конденсации пара, движущегося вдоль вертикальной трубы	275
35. Коэффициент теплоотдачи при сверхкритическом давлении в области больших теплостеко-стей	276
36. Коэффициент теплоотдачи при продольном омывании для кипящей воды	277
37. Угловые коэффициенты ширмовых и змеевиковых поверхностей нагрева	278
38. Коэффициент облученности точек с максимальным тепловосприятием (для труб ширм)	278
39. Коэффициент облученности точек с максимальным тепловосприятием (для труб коридорных пучков)	279
40. Коэффициент облученности точек с максимальным тепловосприятием (для труб шахматных пучков)	280
41. Коэффициент растечки для труб конвективных поверхностей нагрева	281
42. Коэффициент растечки для экранных труб ($e \geq 0$)	282
43. Коэффициент растечки для труб двусветных экранов	282
44. Коэффициент растечки в лобовых точках плавниковых труб при двустороннем облучении	282
45. Коэффициент растечки в корне плавника радиационных поверхностей нагрева	283
46а. Поправка на смещение плавника C_u	284
46б. Коэффициент учета влияния сварных швов k_c	284
47. Коэффициент растечки $\mu_{пл}$ в вершине плавника	284
48. Коэффициент формы плавника A	285
49. Поправка к коэффициенту растечки $\Delta\mu_{пл}$ при двустороннем облучении	286
50. Коэффициент растечки в лобовой точке плавниковых труб при конвективном тепловосприятии	286
51. Коэффициент растечки в корне плавника при конвективном тепловосприятии	287
52. Относительная средняя тепловая нагрузка плавниковой трубы (без учета плавников)	88
53. Параметр a_0	288
54. Коэффициент M	289
55. Коэффициент растечки $\mu_{к.п}$ в корне перемычки	289
56. Коэффициент I_0	290
57. Коэффициент растечки $\mu_d^{(0)}$ (для труб равных диаметров)	291
58. Поправка $\Delta\mu_d$ к коэффициенту растечки $\mu_d^{(0)}$	292
59. Коэффициент k_d	292
60. Коэффициент концентрации теплового потока в ножке шипа	293
61. Коэффициент растечки для ошипованной трубы	294
62. Комплекс A	295

ГЛАВА ПЕРВАЯ ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1-01. «Тепловой расчет котельных агрегатов» содержит методические указания, справочные материалы, расчетные формулы и номограммы, необходимые для выполнения поверочного и конструктивного (проектного) тепловых расчетов стационарных котельных агрегатов.

Методика поверочного и конструктивного расчетов является в основном общей. Различие заключается в задачах расчета и искомых величинах.

1-02. В поверочном тепловом расчете по принятой конструкции и размерам котельного агрегата для заданных нагрузки и вида топлива определяют температуру воды, пара, воздуха¹ и газов на границах между отдельными поверхностями нагрева, коэффициент полезного действия, расход топлива, расход и скорости воздуха и дымовых газов.

Поверочный расчет производят для оценки показателей экономичности и надежности агрегата при работе на заданном топливе, выявления необходимых реконструктивных мероприятий, выбора вспомогательного оборудования и получения исходных материалов для проведения расчетов: аэродинамического, гидравлического, температур металла и прочности труб, интенсивности золового износа труб, коррозии и др.

1-03. При конструктивном (проектном) расчете определяют размеры топки и поверхностей нагрева отдельных элементов агрегата, необходимые для обеспечения номинальной паропроизводительности¹, принятых показателей экономичности и заданных параметров пара при заданных температуре питательной воды и характеристиках топлива. Конструктивный расчет также дает исходные материалы для выбора вспомогательного оборудования и для аэродинамиче-

¹ Номинальной паропроизводительностью называется наибольшая производительность, которую агрегат должен обеспечивать в длительной эксплуатации при номинальных величинах параметров пара и питательной воды.

ского, гидравлического, прочностного и других расчетов надежности.

1-04. Расчетное задание для поверочного теплового расчета котельного агрегата должно содержать следующие сведения и исходные данные:

а) чертежи котельного агрегата и сведения о конструкции и размерах топочного устройства, поверхностей нагрева и газоходов, необходимые для определения конструктивных характеристик, используемых в расчете;

б) характеристики топлива в соответствии с требованиями, приведенными в гл. 2;

в) паропроизводительность агрегата, давление и температуру питательной воды и перегретого пара у главной выходной задвижки;

г) расход и параметры вторичного пара на входе и выходе из промежуточного перегревателя (при его наличии);

д) расход насыщенного пара (при отборе пара из барабана котла);

е) величину непрерывной продувки;

ж) данные расчета системы пылеприготовления: количество аэросмеси, первичного воздуха и топочных газов, отбираемых на сушку; количество присосанного воздуха в системе пылеприготовления; влажность и температуру пыли.

1-05. При конструктивном (проектном) тепловом расчете задание должно содержать следующие исходные данные:

а) сведения о системе пылеприготовления, типе топочного устройства и компоновке агрегата;

пункты «б» — «ж» те же, что в задании на поверочный тепловой расчет.

Температуру уходящих газов и горячего воздуха указывают в задании или выбирают в соответствии с рекомендациями приложения II и конкретными условиями проектирования.

Температуру газов в конце топки и по газоходам, скорость газов, воды и пара, энтальпию воды и пара в отдельных промежуточных точках пароводяного тракта выбирают на основе рекомендаций приложения II с учетом конкретных условий.

ГЛАВА ВТОРАЯ ТОПЛИВО

2-А. ТВЕРДОЕ И ЖИДКОЕ ТОПЛИВО

а) Теплота сгорания

2-01. Теплота сгорания твердого и жидкого топлива принимается по данным калориметрических определений. Использование для расчета значений теплоты сгорания, подсчитанных по составу топлива при помощи эмпирических формул, не рекомендуется.

2-02. Теплота сгорания высшая Q_v вычисляется по величине теплоты сгорания в калориметрической

бомбе Q_b , исправленной с учетом кислотообразования при сгорании:

$$Q_v = Q_b - 22,5S_b - 0,0015Q_b, \text{ ккал/кг}, \quad (2-01)$$

где $22,5S_b$ — теплота, выделяющаяся при окислении продуктов сгоревшей в бомбе серы S_b , %, от SO_2 до SO_3 и растворении последней в воде; $0,0015Q_b$ — теплота образования азотной кислоты в бомбе для каменных и бурых углей. Для углей марок Т, ПА, А и жидкого топлива эта величина равна $0,001Q_b$.

2-03. Теплота сгорания низшая Q_n находится вычитанием из теплоты сгорания высшей Q_v тепло-

ты парообразования, условно принимаемой равной 600 ккал/кг:

$$Q_H = Q_B - 6(W + 9H), \text{ ккал/кг.} \quad (2-02)$$

2-04. При сжигании в калориметрической бомбе сланцев и других топлив, содержащих карбонаты, последние в большинстве случаев разлагаются практически полностью. Поэтому теплота сгорания при калориметрировании определяется с учетом теплового эффекта разложения карбонатов $[-9,7(\text{CO}_2)_K]$, ккал/кг.

б) Различные массы топлива и пересчет характеристик с одной массы на другую

2-05. Характеристики топлива могут быть отнесены: к рабочей массе топлива (обозначаемой индексом «р»), т. е. к топливу в том виде, в каком оно поступает для потребления (в котельную, на пылезавод и т. п.);

к сухой массе (индекс «с»), т. е. к топливу, не содержащему влаги ($W=0$);

к горючей массе (индекс «г»), т. е. к сумме элементов, составляющих органическую массу топлива, и колчеданной сере.

Для всех топлив, кроме содержащих большое количество карбонатов, за горючую массу условно принимают $(100 - W - A)$, где 100 — рабочая или аналитическая масса топлива, %.

Для топлив с большим содержанием карбонатов (свыше 2%) за горючую массу принимается

$$100 - W - A_{\text{испр}} - (\text{CO}_2)_K,$$

где $(\text{CO}_2)_K$ — содержание двуокиси углерода карбонатов, %;

$A_{\text{испр}}$ — зольность без учета сульфатов, образовавшихся при разложении карбонатов, и с поправкой на сгорание серы колчедана, %;

$$A_{\text{испр}} = A^p - [2,5(S_a - S_{\text{ст}})^c + 0,375^c S_K] \times \left(1 - \frac{W^p}{100}\right), \%, \quad (2-03)$$

где S_a — содержание серы в лабораторной золе, в процентах к массе топлива;

$S_{\text{ст}}$ — содержание сульфатной серы в топливе;

S_K — содержание колчеданной серы в топливе.

При отсутствии лабораторных данных о содержании сульфатов величину $[2,5(S_a - S_{\text{ст}})^c + 0,375^c S_K]$ принимают равной для эстонских и гдовских сланцев 2,0, кашпирских — 4,1.

Такой условный расчет объясняется тем, что при горении топлив с большим содержанием карбонатов последние (в основном CaCO_3 , а также MgCO_3 и FeCO_3) разлагаются на окисел металла и CO_2 . Окисел металла остается в золе и в результате частичного присоединения окислов серы образует сульфаты.

Из определений каждой массы топлива следуют соотношения:

$$C^p + H^p + N^p + O^p + S^p_K + S^p_{\text{ор}} + A^p + W^p = 100\%;$$

$$C^c + H^c + N^c + O^c + S^c_K + S^c_{\text{ор}} + A^c = 100\%;$$

$$C^g + H^g + N^g + O^g + S^g_K + S^g_{\text{ор}} = 100\%.$$

Пересчет состава топлива, выхода летучих и теплоты сгорания (в бомбе и высшей) с одной массы топлива на другую производится при помощи множителей, приведенных в табл. 2-1.

Табл. 2-1

Заданная масса топлива	Искомая масса топлива		
	рабочая	сухая	горючая
Рабочая	1	$\frac{100}{100 - W^p}$	$\frac{100}{100 - W^p - A^p}$
Сухая	$\frac{100 - W^p}{100}$	1	$\frac{100}{100 - A^c}$
Горючая	$\frac{100 - W^p - A^p}{100}$	$\frac{100 - A^c}{100}$	1

2-06. Элементарный состав и теплота сгорания (в бомбе и высшая) рабочей массы влажностью W^p_1 на массу влажностью W^p_2 пересчитываются путем умножения на отношение $\frac{100 - W^p_2}{100 - W^p_1}$ и зольностью A^p_1 на зольность A^p_2 (при $W^p = \text{const}$) — умножением на $\frac{100 - A^p_2}{100 - A^p_1}$.

Для сланцев пересчет состава ($C, H, N, O, S_K, S_{\text{ор}}$) и теплоты сгорания (в бомбе и высшей) с рабочей массы на горючую производится при помощи множителя

$$\frac{100}{100 - W^p - A^p_{\text{испр}} - (\text{CO}_2)^p_K}.$$

Пересчет данных состава и теплоты сгорания (в бомбе и высшей) с рабочей массы, характеризующейся зольностью A^p_1 и содержанием двуокиси углерода карбонатов $(\text{CO}_2)^p_{K1}$, на рабочую массу с A^p_2 и $(\text{CO}_2)^p_{K2}$ производится при помощи множителя

$$\frac{100 - A^p_{\text{испр}2} - (\text{CO}_2)^p_{K2}}{100 - A^p_{\text{испр}1} - (\text{CO}_2)^p_{K1}}.$$

2-07. Низшая теплота сгорания топлива подсчитывается по формулам:

$$Q^p_H = Q^p_B - 6(W^p + 9H^p), \text{ ккал/кг;} \quad (2-04)$$

$$Q^c_H = Q^c_B - 54H^c, \text{ ккал/кг;} \quad (2-05)$$

$$Q^g_H = Q^g_B - 54H^g, \text{ ккал/кг;} \quad (2-06)$$

$$Q^p_H = Q^g_H \frac{100 - W^p - A^p}{100} - 6W^p, \text{ ккал/кг.} \quad (2-07)$$

Низшая теплота сгорания рабочей массы топлива влажностью W^p_1 пересчитывается на массу влажностью W^p_2 по формуле

$$Q^p_{H2} = (Q^p_{H1} + 6W^p_1) \frac{100 - W^p_2}{100 - W^p_1} - 6W^p_2, \text{ ккал/кг.} \quad (2-08)$$

При изменении зольности рабочей массы пересчет Q^p_H производится согласно п. 2-06.

При одновременном изменении влажности и зольности для пересчета Q^p_H используется формула

$$Q^p_{H2} = (Q^p_{H1} + 6W^p_1) \frac{100 - W^p_2 - A^p_2}{100 - W^p_1 - A^p_1} - 6W^p_2, \text{ ккал/кг.} \quad (2-09)$$

в) Классификация углей

2-08. В соответствии с существующим ГОСТ ископаемые угли делятся на три основных типа: бурые, каменные и антрацит. Переходным типом между каменными углями и антрацитом является полуантрацит.

2-09. К бурым углям (марка Б) относят угли с высшей теплотой сгорания рабочей массы беззольного угля $Q_{рв} \frac{100}{100 - A_p} < 5700$ ккал/кг. По этому же признаку выделяют бурые угли и в международной классификации ископаемых углей.

В СССР бурые угли по содержанию в них рабочей влаги разделяют на три группы: Б1 — содержащие рабочую влагу более 40,0%; Б2 — от 30,0 до 40,0%; Б3 — до 30,0%. Бурые угли по сравнению с каменными характеризуются высоким выходом летучих ($V_r > 40\%$), неспекшимся коксовым остатком, высокой гигроскопической и в большинстве случаев высокой общей влажностью, пониженным содержанием углерода и повышенным — кислорода. Они легко теряют на воздухе влагу и механическую прочность, превращаясь при этом в мелочь, и обладают повышенной склонностью к самовозгоранию.

2-10. К каменным относят угли с высшей теплотой сгорания рабочей массы беззольного угля $Q_{рв} \frac{100}{100 - A_p} > 5700$ ккал/кг и, в отличие от антрацитов и полуантрацитов, с высоким выходом летучих веществ ($V_r > 9\%$). Основная масса их в разной степени спекается, и только часть углей, с выходом летучих свыше 42—45% (длиннопламенные) и менее 17% (тощие), не спекается.

Каменные угли делятся на марки в основном по выходу летучих веществ V_r и толщине пластического слоя y . Нижний предел величины y , выраженный в миллиметрах, ставится в качестве индекса к обозначению марки угля. Например: Г₁₀ — газовый, минимальная толщина пластического слоя 10 мм и т. д.

Действующие ГОСТ различают марки каменных углей (табл. 2-2).

Числовые значения величин V_r и y углей одной и той же марки различны у топлив разных бассейнов или месторождений. Они указаны в классификациях каменных углей по бассейнам и месторождениям.

Таблица 2-2

Марка углей	Обозначение	Выход летучих веществ на горючую массу V_r , %	Характеристика нелетучего остатка
Длиннопламенный	Д	36 и более	От порошкообразного до слабоспекшегося
Газовый	Г	35 и более	Спекшийся
Газовый жирный	ГЖ	Более 31 (до 37)	"
Жирный	Ж	24—37	"
Коксовый жирный	КЖ	25—33	"
Коксовый	К	17—33	"
Отощенный спекающийся	ОС	14—27	"
Тощий	Т	9—17*	От порошкообразного до слабоспекшегося
Слабоспекающийся	СС	17—37	То же

* Для дальневосточных углей марки Т $V_r = 8 \div 20\%$.

В ряде случаев угли марок Г, ГЖ, Ж, КЖ, К и ОС делят для одного и того же бассейна или месторождения на группы по нижнему пределу величины y , который ставят в качестве индекса к обозначению данных марок угля.

Угли, у которых толщина пластического слоя не может быть измерена, относятся при высоком выходе летучих веществ (обычно 37% и более) к длиннопламенным Д, при низком выходе летучих веществ (обычно 17% и менее) — к тощим углям Т.

Кузнечные угли, добываемые в шахтах, при промежуточном выходе летучих веществ (от 17 до 37%) и отсутствии пластического слоя относят к марке СС, при $V_r = 25 \div 37\%$ их обозначают ИСС, при V_r от 17 до 25% — 2СС.

2-11. К полуантрацитам (марка ПА) и антрацитам (марка А) относят угли, имеющие выход летучих веществ в условной горючей массе менее 9%. Полуантрациты от антрацитов отличаются объемным выходом летучих веществ в условной горючей массе (V_{r06}): полуантрациты — от 220 до 330, антрациты — менее 220 см³/г. Полуантрациты обладают более высокой теплотой сгорания ($Q_{г6} > 8350$ ккал/кг), тогда как средняя теплота сгорания антрацитов $Q_{г6} = 8100$ ккал/кг.

2-12. При рассортировке по крупности (грохочении) ископаемые угли и горючие сланцы разделяются на классы, приведенные в табл. 2-3.

К условному обозначению марки угля приписывают условное обозначение класса, например бурый, крупный — БК, газовый, орех — ГО, антрацит, семечко — АС.

Смесь углей различных по крупности классов обозначают следующим способом: БОМ — бурый, орех с мелочью, БМСШ — бурый, мелкий, с семечком и штыбом, АСШ — антрацит, семечко со штыбом и пр.

При грохочении углей и горючих сланцев, кроме указанных выше классов, получают также отсевы, размер кусков которых меньше определяемого.

Мелочью для грохоченых углей считаются куски размером менее нижнего предела, установленного для каждого класса, а для углей классов 0—25 и 0—50 мм и рядовых — менее 6 мм.

2-13. Часть углей, преимущественно спекающихся, используемых для коксования, подвергается обогащению — сухому или мокрому — с выделением малозольного концентрата (главным образом, для коксования), высокозольного ($A^c > 40 \div 45\%$) промпродукта (для энергетических целей) и очень высокозольных ($A^c > 45\%$) хвостов, удаляемых в отвалы.

При мокром обогащении углей выделяется как самостоятельный продукт шлам (класс 0—3 мм), который после подсушки используется для сжигания.

2-14. Вне приведенной выше схемы классификации ископаемых углей остаются геологически окисленные каменные и бурые угли. Примером первых являются угли, добываемые в разрезах Кузнецкого бассейна,

Таблица 2-3

Класс угля	Обозначение	Размер кусков, мм
Плита	П	Более 100
Крупный	К	50—100
Орех	О	25—50
Мелкий	М	13—25
Семечко	С	6—13
Штыб	Ш	Менее 6
Рядовой	Р	До 300

вторых — сажистые угли Подмосковского бассейна. Окисленными являются также угли практически всех ныне разрабатываемых месторождений Средней Азии и особенно Анграна, Кызыл-Кия, Сулюкты, Шураба (маркируемые как бурые).

Окисленные каменные угли характеризуются полной или частичной потерей спекаемости, тогда как при выходе летучих $V^r = 17 \div 40\%$ неокисленные каменные угли обладают этим свойством. У всех окисленных углей пониженные (иногда на 1000—2000 ккал/кг) теплота сгорания и содержание водорода (при сильной окисленности). За редким исключением они обладают малой механической прочностью и повышенной склонностью к окислению и самовозгоранию.

г) Классификация торфа

2-15. Торф как топливо должен удовлетворять следующим требованиям (табл. 2-4).

Таблица 2-4

Характеристика торфа	Вид торфа	
	фрезерный	кусковой
Содержание влаги W^p , %, не более:		
I группа ¹	50	45
II группа	52	48
Зольность A^c , %, не более . .	23*	23*
Засоренность посторонними примесями (куски размером свыше 25 мм), %, не более . .	10	—
Содержание мелочи (куски размером менее 25 мм), % . .	—	30

¹ Предприятия торфяной промышленности Украинской и Белорусской ССР должны поставлять торф только I группы.

* Для предприятий Украинской ССР, Удмуртской АССР и Тамбовской области допускается поставка торфа зольностью более 23, но не выше 35%.

д) Классификация жидких топлив

2-16. В соответствии с действующим ГОСТ 10585-63 в качестве жидкого котельного топлива применяется остаточный продукт нефтепереработки: **мазут** трех марок — 40, 100 и 200.

Марка топлива определяется предельной вязкостью, составляющей при 80 °С для мазута 40—8,0; для мазута 100—15,5; для мазута 200—6,5—9,5 град. усл. вязкости (°УВ) при 100 °С.

Мазут 200 поставляется (по согласованию с заказчиком) только по трубопроводам непосредственно с нефтеперерабатывающих заводов. Запрещается разогрев его острым паром.

Предельная зольность мазутов 40 и 100 установлена 0,15, мазута 200—0,30%.

По содержанию серы мазуты разделяются на мало-сернистые (до 0,5%), сернистые (до 2,0%) и высоко-сернистые (до 3,5%). Предельная норма содержания серы может быть повышена до 4,3% для мазутов, вырабатываемых из арланско-чекмагушской, серноводской и бугурусланской нефтей.

В ряде случаев в качестве котельного топлива используется низкокачественная сырая или обессоленная и отбензиненная нефть. Эти жидкие топлива резко отличаются от мазута по содержанию легких фракций, в связи с чем они требуют специально оборудованного мазутного хозяйства.

2-Б. ГАЗООБРАЗНОЕ ТОПЛИВО

2-17. Газообразное топливо представляет собой смесь горючих и негорючих газов, содержащую некоторое количество примесей в виде водяных паров, смолы и пыли.

2-18. Состав газообразного топлива задается в процентах по объему, и все расчеты относятся к кубическому метру сухого газа при нормальных условиях (760 мм рт. ст. и 0 °С). Содержание примесей (водяных паров, смолы, пыли) выражается в г/м³ сухого газа.

2-19. Теплота сгорания газообразного топлива принимается по данным калориметрических определений. При отсутствии таких данных теплота сгорания 1 м³ газа при нормальных условиях подсчитывается по формуле смешения:

$$Q_{\text{г}}^{\text{с}} = 0,01 [Q_{\text{H}_2\text{S}} \text{H}_2\text{S} + Q_{\text{CO}} \text{CO} + Q_{\text{H}_2} \text{H}_2 + \Sigma (Q_{\text{C}_m\text{H}_n} \text{C}_m\text{H}_n)], \text{ ккал/м}^3, \quad (2-10)$$

где $Q_{\text{H}_2\text{S}}$, Q_{CO} и т. д. — теплота сгорания отдельных газов, входящих в состав газообразного топлива (табл. 2-5), ккал/м³.

Таблица 2-5

Газы	Обозначение	Плотность ρ , кг/м³	Теплота сгорания низшая $Q_{\text{г}}^{\text{с}}$, ккал/м³
Водород	H ₂	0,090	2 579
Азот элементарный	N ₂	1,251	—
Азот воздуха (с примесью аргона)	N ₂	1,257	—
Кислород	O ₂	1,428	—
Оксид углерода	CO	1,250	3 018
Углекислый	CO ₂	1,964	—
Сернистый	SO ₂	2,858	—
Сероводород	H ₂ S	1,520	5 585
Метан	CH ₄	0,716	8 555
Этан	C ₂ H ₆	1,342	15 226
Пропан	C ₃ H ₈	1,967	21 795
Бутан	C ₄ H ₁₀	2,593	28 338
Пентан	C ₅ H ₁₂	3,218	34 890
Этилен	C ₂ H ₄	1,251	14 107
Пропилен	C ₃ H ₆	1,877	20 541
Бутилен	C ₄ H ₈	2,503	27 111
Бензол	C ₆ H ₆	3,485	33 528

Примечание: При подсчете ρ и $Q_{\text{г}}^{\text{с}}$ объем грамм-молекулы газа принят равным 22,41 л (как для идеального газа). Значения плотности газа даны при 0° С и 760 мм рт. ст.

При содержании в топливе до 3% непредельных углеводородов неизвестного состава их принимают состоящими из этилена (C₂H₄); для газа коксовых печей $Q_{\text{г}}^{\text{с}}$ непредельных углеводородов неизвестного состава принимают равной 17 000 ккал/м³.

2-20. Различные газообразные топлива имеют следующие особенности.

Доменный газ перед поступлением к потребителю подвергается охлаждению и предварительной очистке от пыли в скрубберах или дезинтеграторах. Потребителю подается газ, насыщенный влагой и содержащий 0,1—1,0 (скрубберная очистка) или 0,01—0,3 г/м³ пыли (очистка в дезинтеграторах). В неочищенном доменном газе имеется 7—12 г/м³ пыли, а содержание углерода в пыли 3—5%. Доменный газ при выплавке ферросилиция содержит значительно большее

количество пыли, и при сухом способе очистки, рассчитанном на обычный газ, запыленность его получается более высокой. Смолы в доменном газе практически нет.

Газ коксовых печей, как правило, направляется потребителю после очистки от смолы, бензола, нафталина и аммиака («обратный газ»). Он содержит следы смолы, пыли и до 4 г/м^3 бензола. Влагосодержание газа соответствует его насыщению при $25-35^\circ\text{C}$. В неочищенном газе имеются $27-32 \text{ г/м}^3$ бензола и следы смолы, нафталина и аммиака.

В природных газах, подаваемых потребителю, практически нет пыли, влагосодержание их зависит от способа обезвоживания до поступления в газопровод и на местах добычи может сильно колебаться. При подаче газа на дальние расстояния влага из него удаляется и влагосодержание его можно считать соответствующим насыщению при температуре и давлении в газопроводе; при применяющихся давлениях влагосодержанием можно пренебречь.

2-В. СМЕСИ ТОПЛИВ

2-21. При сжигании смеси двух твердых или жидких топлив, заданной массовыми долями (g' — массовая доля одного из топлив в смеси), теплоту сгорания 1 кг смеси подсчитывают по формуле

$$Q_{pH} = Q_{pH}'g' + Q_{pH}''(1-g'), \text{ ккал/кг.} \quad (2-11)$$

2-22. Если смесь задана в долях по тепловыделению каждого топлива (q' — доля одного из топлив), то для перехода к массовым долям используется формула

$$g' = \frac{q'Q_{pH}''}{q'Q_{pH}'' + (1-q')Q_{pH}'}. \quad (2-12)$$

2-23. При сжигании смеси твердого или жидкого топлива с газообразным расчет для удобства условно ведется не на 1 кг сжигаемой смеси, а на 1 кг твердого или жидкого топлива с учетом количества газа, м^3 , приходящегося на 1 кг.

В этом случае условная теплота сгорания смеси топлив при x , м^3 , газа на 1 кг твердого или жидкого топлива подсчитывается по формуле

$$Q_{pH} = Q_{pH}' + xQ_{pH}'', \text{ ккал/кг,} \quad (2-13)$$

где Q_{pH}' и Q_{pH}'' — соответственно низшая теплота сгорания твердого (или жидкого) топлива, ккал/кг, и газа, ккал/м³.

Если смесь задана по долям тепловыделения каждого топлива (доля твердого или жидкого топлива в суммарном тепловыделении q' и доля газа $1-q'$), то количество газа, приходящееся на 1 кг твердого или жидкого топлива, составляет:

$$x = \frac{1-q'}{q'} \frac{Q_{pH}'}{Q_{pH}''}, \text{ м}^3/\text{кг.} \quad (2-14)$$

2-Г. РАСЧЕТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТОПЛИВА

2-24. Для выбора расчетных характеристик топлива проектное задание должно содержать следующее:

для антрацита, каменных и бурых углей и сланцев — месторождение, марку и класс по размеру кусков;

для отходов обогащения углей — месторождение, марку обогащаемого угля и способ обогащения (сухое, мокрое);

для торфа — способ добычи (кусовой, фрезерный);

для древесного топлива — размеры кусков;

для древесных отходов — характер производства;

для мазута — марку и сернистость;

для искусственного газообразного топлива — вид газа, исходное топливо, способ получения и очистки;

для природного газообразного топлива — газопровод или район добычи, характер месторождения (нефтегазовые скважины, чистогазовые скважины).

Ввиду того что содержание примесей в газообразном топливе, а также температура и давление при поступлении к потребителю подвержены значительным колебаниям, эти величины для конкретных случаев должны быть специально уточнены.

2-25. В табл. I и II приведены расчетные характеристики основных видов и марок потребляемых отечественной энергетикой топлив. Данные значения не могут рассматриваться как постоянные и твердо установленные нормативы. Это некоторые средние числа, характеризующие топливо, состав и качество которого изменяются в зависимости от места и времени добычи. Характеристики твердого топлива относятся, в основном, к рядовому необогащенному и негрохоченному топливу, за исключением грохоченых антрацитов Донбасса.

Помимо средних данных, в табл. I помещены основные характеристики W_p и A_p твердого топлива предельно пониженного качества, возможность более или менее длительного поступления которого следует учитывать при проектировании отдельных агрегатов или предприятий, а также указаны предельные значения содержания серы.

В приведенные в табл. I количества летучих веществ, определенные по ГОСТ, входят водяные пары, получающиеся при разложении гидратной воды. Горючие летучие, обуславливающие реакционную способность топлива, находятся по формуле:

$$V_{гиспр} = \frac{(V^c - W_{гидр}) 100}{100 - (A^c + W_{гидр})}, \%,$$

где

$$W_{гидр} = 0,1A^c, \%; V^c = V_{г} \frac{100 - A_p - W_p}{100 - W_p}.$$

В качестве температурных характеристик золы приведены температуры плавкости t_1 , t_2 и t_3 и параметры, определяющие свойства расплавов золы, t_0 , μ_0 , $t_{н.ж}$, $\mu_{н.ж}$:

t_0 — температура начала истинно жидкого состояния¹, $^\circ\text{C}$, определяется по графикам зависимости вязкость — температура как точка расхождения кривых, полученных при нагреве и охлаждении;

μ_0 — коэффициент динамической вязкости при температуре начала истинно жидкого состояния, $(\text{кгс} \cdot \text{сек})/\text{м}^2$;

$t_{н.ж}$ — температура нормального жидкого шлакоудаления, $^\circ\text{C}$, т. е. температура, до которой должен быть нагрет шлак при вытекании из летки;

$\mu_{н.ж}$ — коэффициент динамической вязкости при этой температуре, $(\text{кгс} \cdot \text{сек})/\text{м}^2$.

¹ Истинно жидким называется такое состояние, при котором расплав подчиняется закону течения Ньютона.

При значениях $\mu_0 \leq 2$ (кгс·сек)/м² $t_{н.ж}$ принимается равной t_0 . При значениях $\mu_0 > 2$ (кгс·сек)/м², что может быть у шлаков с высоким содержанием SiO₂, $t_{н.ж}$ принимают как температуру, при которой вязкость становится менее 2 (кгс·сек)/м².

Данные t_0 , μ_0 , $t_{н.ж}$ и $\mu_{н.ж}$, приведенные в табл. I, получены на основании исследования лабораторной золы топлива.

Химический состав золы твердых топлив в табл. I дан в расчете на бессульфатную массу. Такой условный расчет объясняется тем, что большая часть сульфатов, содержащихся в лабораторной золе, образуется вследствие связывания продуктов сгорания серы с окислами металлов. При сжигании топлива в топках сульфаты не образуются.

Характеристики расплавов и химического состава золы углей приведены на основании ограниченного количества данных, и поэтому их следует рассматривать как предварительные и подлежащие в дальнейшем корректировке.

2-26. При тепловом расчете серийных котельных агрегатов характеристики топлива принимаются по табл. I и II. Тепловые расчеты котельных агрегатов, предназначенных для конкретных объектов, при наличии обоснованных данных выполняются с учетом характерного для этого объекта топлива.

Изменения характеристики топлива в пределах, указанных в табл. 2-6, приводят к отклонению основных результатов теплового расчета агрегата в пределах точности расчета. Поэтому если заданные характеристики (отдельные или несколько одновременно) отклоняются от табличных или других значений, предварительно принятых для расчета данного агрегата, на величины, не превышающие указанные в табл. 2-6, то пересчет на топливо заданных характеристик не нужен.

2-27. При сжигании топлива, о котором нет данных в табл. I и II, его расчетные характеристики должны быть установлены на основании анализов проб, специально для этой цели отобранных по соответствующим инструкциям.

Таблица 2-6

Характеристика топлива	Обозначение	Допустимые отклонения для			
		тощих углей и антрацитов	каменных углей	бурых углей и торфа	
Влажность на рабочую массу, %	W^p	2	3	4	
Зольность на сухую массу, %	$A^{с*}$	8	9	10	
Содержание на горючую массу, %:					
углерода	C^r	8	7	6	
водорода	H^r		0,8		
кислорода	O^r		2,5		
серы	$S_{ор+к}^p$	Без ограничений			
Теплота сгорания низшая на горючую массу, ккал/кг	Q_n^r	240	210	180	

* Расчетная зольность не должна превышать значение $A_{макс}^{с*}$, указанное в табл. I.

Анализы проб топлива разделяются на следующие группы, расположенные в порядке убывания надежности их использования для характеристики товарного топлива:

товарные пробы (расчетные, штабельные, эксплуатационные);

пластовые пробы из действующих забоев, штреков и пр.;

пробы из разведочных выработок (шурфов, штолен и т. д.);

буровые (керновые) пробы.

Принятые для установления расчетных характеристик топлива анализы должны отвечать следующим минимальным требованиям:

теплота сгорания должна быть определена по калориметру;

пределы колебаний теплоты сгорания горючей массы $Q_{гб}^r$ или Q_n^r разных партий топлива или за различные периоды времени не должны превышать 150—200 ккал/кг;

при проверке соответствия заданного элементарного состава теплоте сгорания горючей массы, вычисленной по формуле Менделеева

$$Q_n^r = 81C^r + 246H^r - 26(O - S)^r, \text{ ккал/кг}, \quad (2-15)$$

расхождение с калориметрическим определением не должно превышать 150 ккал/кг для топлива зольностью $\leq 25\%$ и 200 ккал/кг — для топлив с $A^{с*} > 25\%$. Эти расхождения при $A^{с*} \leq 25\%$ могут быть как отрицательными, так и положительными, а при $A^{с*} > 25\%$ результаты подсчета по формуле Менделеева должны быть выше, чем по калориметру.

Для сопоставления различных проб все данные по зольности и содержанию серы ($S_{об}^c$, $S_{ст}^c$, S_k^c) должны быть пересчитаны на сухую массу, а по элементарному составу, теплоте сгорания и выходу летучих — на горючую массу. В результате такого сопоставления должны быть определены расчетные характеристики топлива.

Содержание влаги рабочей (W^p) должно быть принято в основном по товарным и пластовым пробам (если имеется уверенность, что начальная влажность их была сохранена при разделке и пробы были герметично упакованы при доставке в лабораторию). При отсутствии такой уверенности расчетные величины W^p должны быть приняты по влагоемкости $W_{макс}$ (ГОСТ 8858-71).

Зольность $A^{с*}$, содержание серы ($S_{об}^c$, $S_{ст}^c$, S_k^c) и температура плавления золы должны определяться в основном по товарным пробам.

Для получения остальных характеристик (C^r , H^r , N^r , O^r , $S_{ор}^r$, Q_n^r , V^r , характеристика нелетучего остатка) могут быть учтены данные анализа проб всех четырех классов.

2-28. Для расчета котельного агрегата на топливе, характеристики которого помещены в табл. I, но заданные зольность или влажность отличаются от данных табл. I на величины, больше допустимых (табл. 2-6), расчетные характеристики топлива определяются по указаниям п. 2-06 и 2-07 путем пересчета табличных значений состава и теплоты сгорания (если только принятая расчетная характеристика зольности $A^{с*}$ не превышает величины $A_{макс}^{с*}$, указанной в табл. I).

2-29. В тех случаях, когда расчетные характеристики топлива принимаются не по табл. I или II, они должны выбираться согласно рекомендациям специализированной организации.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

ФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАБОЧИХ ТЕЛ,
ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В ТЕПЛОМ РАСЧЕТЕ
КОТЕЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ

3-01. При определении теплоемкости газов объем моля принимался равным 22,41 м³ при 760 мм рт. ст. и 0 °С (по идеальному газу).

Теплоемкости воздуха и газов отнесены к 1 м³ при 0 °С и 760 мм рт. ст.

Значения теплоемкостей воздуха и газов, входящих в продукты сгорания, приведены в табл. III.

Теплоемкость влажного воздуха c_v вычислена при влагосодержании 10 г на 1 кг сухого воздуха и отнесена к 1 м³ сухого воздуха. При другом влагосодержании d , г/кг, теплоемкость воздуха находится по формуле

$$c_v = c_{с.в} + 0,0016dc_{H_2O}, \text{ ккал}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{С}), \quad (3-01)$$

где $c_{с.в}$ и c_{H_2O} — теплоемкость сухого воздуха и водяного пара.

3-02. Для продуктов сгорания, давление которых в котельных агрегатах близко к атмосферному, даны коэффициенты кинематической вязкости ν , м²/сек, а для пара и воды — коэффициенты динамической вязкости μ , (кгс·сек)/м².

Коэффициент кинематической вязкости для пара и воды определяется по формуле

$$\nu = 9,81\mu\nu, \text{ м}^2/\text{сек}, \quad (3-02)$$

где удельные объемы ν , м³/кг, принимаются по таблицам термодинамических свойств воды и водяного пара (табл. XXIII—XXVII).

3-03. Коэффициенты кинематической вязкости воздуха и дымовых газов среднего состава при давлении 760 мм рт. ст. и температуре от 0 до 2200 °С представлены в табл. IV.

Состав дымовых газов характеризуется объемными долями водяных паров и углекислого газа r_{H_2O} и r_{CO_2} , равными парциальным давлениям этих газов при общем давлении 1 кгс/см²; средний состав газов соответствует $r_{H_2O}=0,11$ и $r_{CO_2}=0,13$.

Отклонение коэффициентов кинематической вязкости продуктов полного сгорания, имеющих состав, отличный от среднего, обусловлено главным образом изменением содержания водяных паров.

На рис. 3-1 приводится множитель $M_\nu = \nu/\nu_r$, определяемый в зависимости от r_{H_2O} и температуры газов.

Коэффициент кинематической вязкости дымовых газов заданного состава подсчитывается по формуле

$$\nu = M_\nu \nu_r, \text{ м}^2/\text{сек}. \quad (3-03)$$

3-04. Коэффициенты динамической вязкости воды и водяного пара при давлении от 1 до 400 кгс/см² и температуре от 0 до 700 °С, а также на линии насыщения приведены в табл. V.

3-05. Коэффициенты теплопроводности воздуха и дымовых газов среднего состава ($r_{H_2O}=0,11$, $r_{CO_2}=0,13$) для температур 0—2200 °С представлены в табл. IV.

Теплопроводность продуктов полного сгорания, как и вязкость, зависит главным образом от содержания водяных паров. На рис. 3-1 приведен множитель $M_\lambda = \lambda/\lambda_r$, определяемый в зависимости от r_{H_2O} и температуры газов.

Коэффициент теплопроводности дымовых газов заданного состава вычисляется по формуле

$$\lambda = M_\lambda \lambda_r, \text{ ккал}/(\text{м} \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{С}). \quad (3-04)$$

3-06. Коэффициенты теплопроводности воды и водяного пара для давления от 1 до 400 кгс/см² и температуры от 0 до 700 °С, а также на линии насыщения представлены в табл. VI.

3-07. Критерий физических свойств

$$Pr = 3600 \frac{\nu c_{pr}}{\lambda}, \quad (3-05)$$

где c_p — истинная теплоемкость, ккал/(кг·°С);

ρ — плотность, кг/м³.

3-08. Значения критерия Pr для воздуха и дымовых газов среднего состава (объемные доли трехатомных газов $r_{H_2O}=0,11$; $r_{CO_2}=0,13$) при давлении 760 мм рт. ст. и температуре от 0 до 2200 °С даны в табл. IV.

На рис. 3-1 показан график зависимости множителя $M_{Pr} = Pr/Pr_r$ от объемной доли водяных паров r_{H_2O} . Для дымовых газов, состав которых отличается от среднего, критерий Pr определяется по формуле

$$Pr = Pr_r M_{Pr}. \quad (3-06)$$

3-09. Значения критерия Pr для воды и водяного пара для давлений от 1 до 400 кгс/см² и температур от 0 до 700 °С, а также на линии насыщения приведены в табл. VII.

3-10. Для котлов, работающих с наддувом при давлении, превышающем 1,05 кгс/см², коэффициент кинематической вязкости газов определяется по формуле

$$\nu_p = \frac{\nu}{p}, \text{ м}^2/\text{сек}, \quad (3-07)$$

где p — давление дымовых газов, кгс/см².

Теплоемкость, коэффициент теплопроводности и критерий физических свойств газов принимаются для давлений, которые могут возникнуть в газоходах котлов (в том числе и высоконапорных парогенераторов), не зависящими от давления.

3-11. Удельные объемы и энтальпии воды и водяного пара даны в табл. XXIII—XXVII.

3-12. Коэффициенты вязкости и теплопроводности, а также величины критерия Pr для газообразных топлив указаны в табл. VIII. Они могут также быть использованы для определения характеристик других, близких по составу смесей газов.

3-13. Теплоемкость рабочей массы твердого топлива рассчитывается по выражению

$$c_{p, \text{тл}} = \frac{W_p}{100} + c_{\text{тл}}^0 \frac{100 - W_p}{100}, \text{ ккал}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{С}). \quad (3-08)$$

Теплоемкость сухой массы топлива $c_{\text{тл}}^0$, ккал/(кг·°С) принимается по данным табл. 3-1.

3-14. Теплоемкость мазута составляет

$$c_{\text{тл}} = 0,415 + 0,0006t, \text{ ккал}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{С}), \quad (3-09)$$

где t — температура мазута, °С.

3-15. Теплоемкость газообразного топлива, отнесенная к 1 м³ сухого газа, определяется по формуле

$$c_{\text{г, тл}} = 0,01 (c_{H_2} H_2 + c_{CO} CO + c_{CH_4} CH_4 + c_{CO_2} CO_2 + \dots) + 0,00124 c_{H_2O} d_{\text{г, тл}}, \text{ ккал}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{С}). \quad (3-10)$$

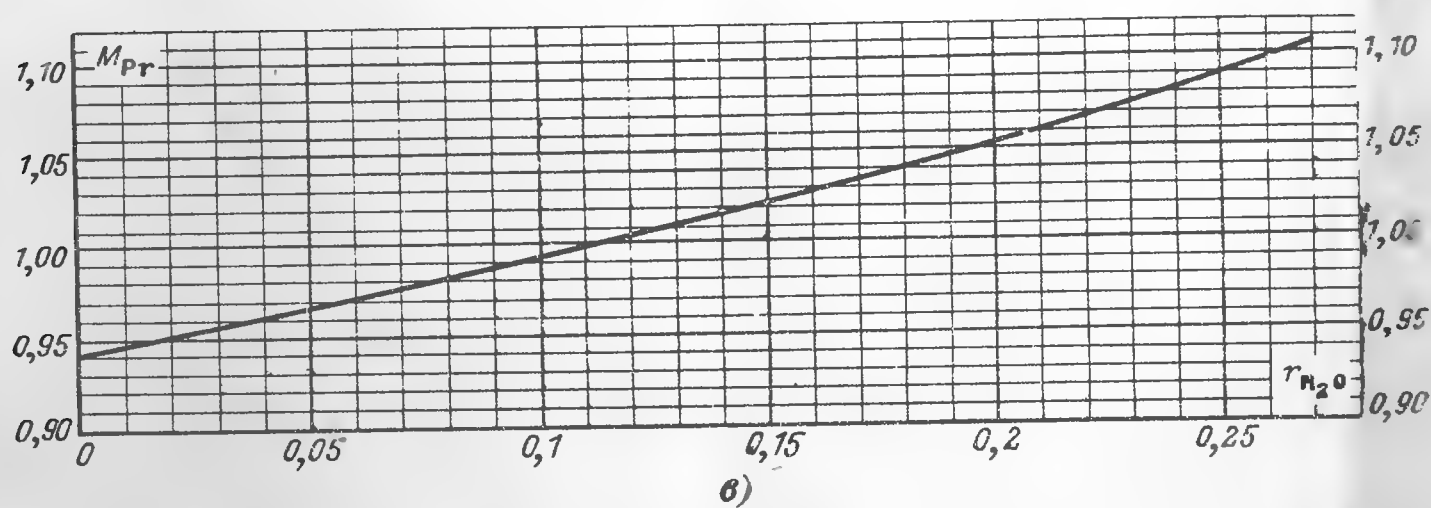
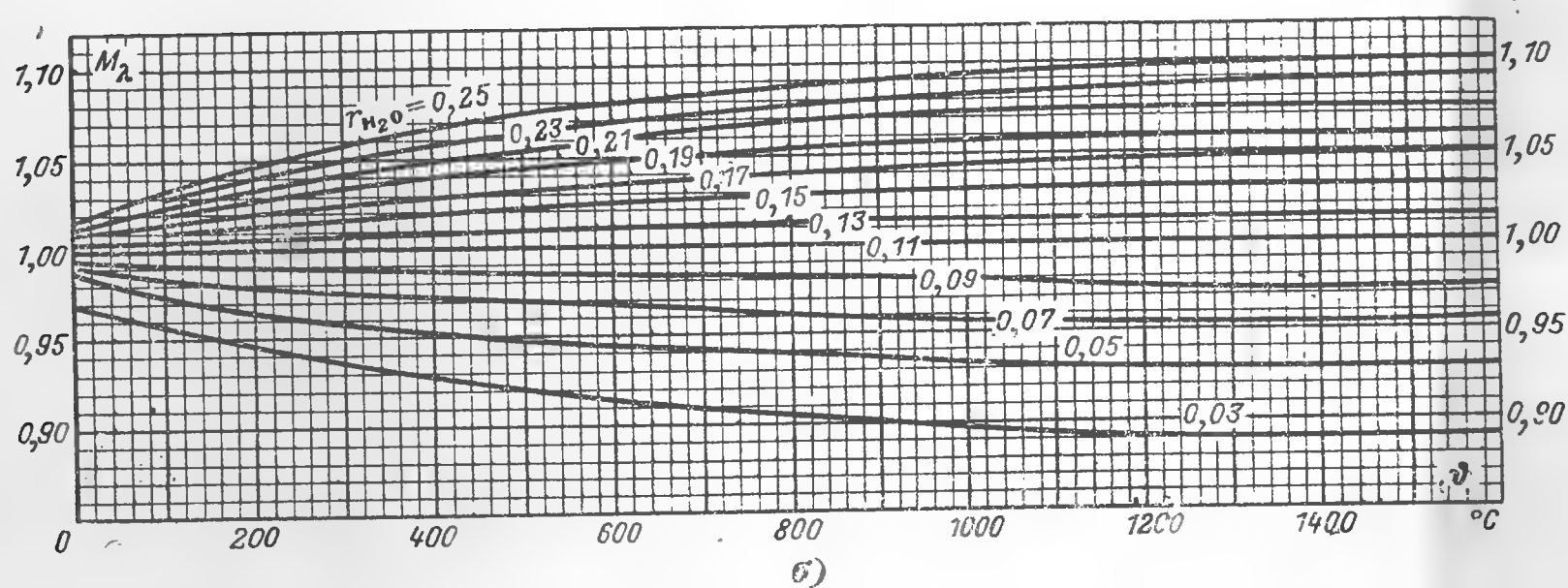
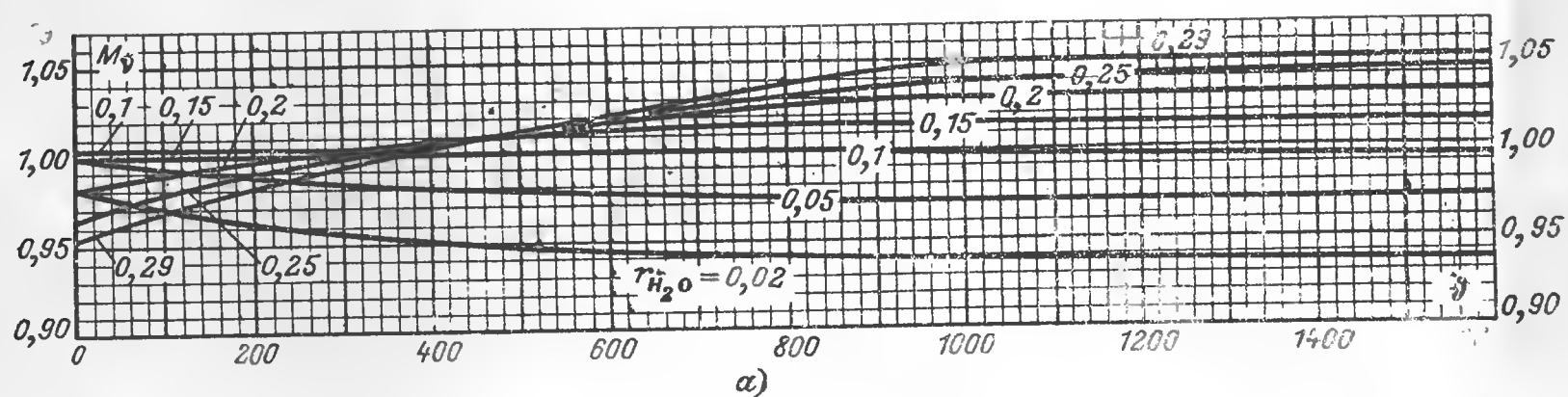


Рис. 3-1. Поправки для пересчета физических характеристик дымовых газов среднего состава.
а — M_v ; б — M_λ ; в — M_{Pr} .

Рис. 3-2. Зависимость коэффициентов вязкости мазутов от температуры.

Ф5 и Ф12 — мазуты флотские; 40, 100, 200 — топочные мазуты; МП — топливо для мартеновских печей; НС — стабилизированная нефть; О — вязкость мазута по ГОСТу 10585-63; Δ — вязкость стабилизированной нефти.

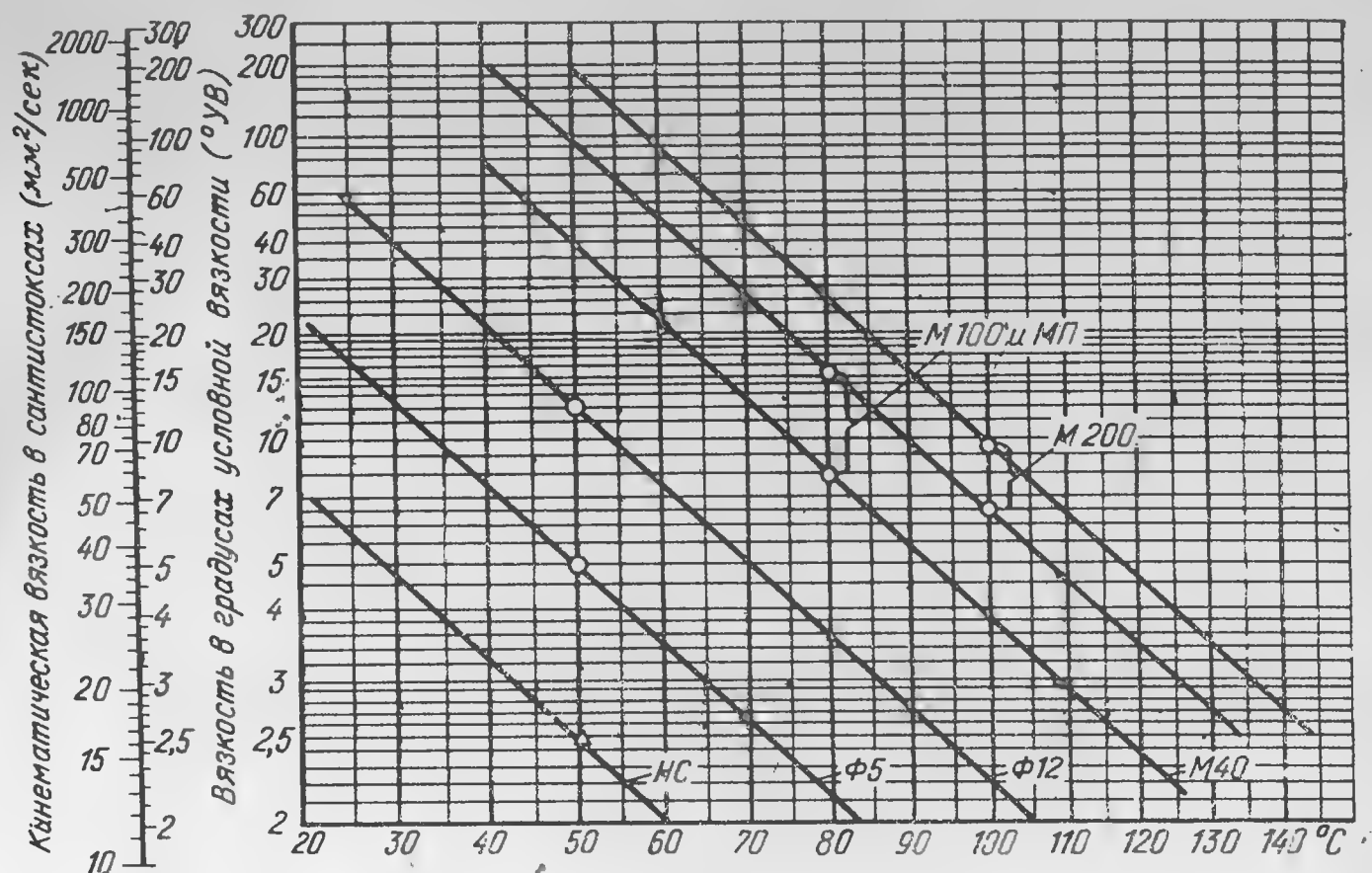


Таблица 3-1

Топливо	Температура, °С				
	0	100	200	300	400
Антрациты и тощие угли	0,22	0,23	0,25	0,27	0,28
Каменный уголь . . .	0,23	0,26	0,30	0,34	—
Бурый уголь	0,26	0,30	0,35	—	—
Сланцы	0,25	0,27	0,31	—	—
Фрезерный торф . . .	0,31	0,36	0,43	—	—

Теплоемкости негорючих составляющих приведены в табл. III, горючих — в табл. IX.

3-16. Средняя теплоемкость золы твердых топлив от 0 до t , °С, дана в табл. 3-2.

3-17. Вязкость мазутов и нефти, коэффициенты теплопроводности мазутов, а также температура вспышки и застывания указаны в табл. X. Зависимость коэффициента вязкости от температуры показана на рис. 3-2.

Таблица 3-2

t , °С	$c_{вл}$, ккал/(кг·°С)	t , °С	$c_{вл}$, ккал/(кг·°С)
100	0,193	1100	0,238
200	0,202	1200	0,24
300	0,210	1300	0,25
400	0,215	1400	0,27
500	0,219	1500	0,28
600	0,223	1600	0,28
700	0,226	1700	0,29
800	0,229	1800	0,29
900	0,232	1900	0,30
1000	0,235	2000	0,30

Примечания: 1. Значения теплоемкости при высоких температурах даны с учетом теплоты перехода из твердого в жидкое состояние.

2. Значения теплоемкости при $t > 1600$ °С определены приближенно, экстраполяцией опытных данных.

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ

ОБЪЕМЫ¹ И ЭНТАЛЬПИИ ВОЗДУХА И ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ

4-А. РАСЧЕТ ОБЪЕМОВ И ЭНТАЛЬПИИ

4-01. Все объемы и энтальпии воздуха и продуктов сгорания рассчитываются на 1 кг твердого, жидкого или на 1 м³ сухого газообразного топлива при нормальных условиях. При разомкнутой схеме пылеприготовления расчеты ведутся на 1 кг подсушенного топлива, при полуразомкнутой — согласно п. 4-13.

¹ Объемы воздуха и газов в данной книге выражены в м³ при 0°С и 760 мм рт. ст.

Потери тепла от механического недожога q_4 учитываются при определении расчетного расхода топлива:

$$B_p = \frac{100 - q_4}{100} B, \text{ кг/ч}, \quad (4-01)$$

где B — полный расход топлива на котельный агрегат, кг/ч.

Все формулы даны применительно к случаю отсутствия химической неполноты сгорания топлива q_3 , но с достаточной для расчетов точностью могут использоваться и при незначительной химической неполноте

горения, соответствующей указанным в гл. 5 значениям. Состав твердого и жидкого топлив в формулах выражен в процентах по массе, а газообразного — по объему.

Объем 1 моля при нормальных условиях для всех газов принимался равным $22,41 \text{ м}^3$ (как для идеального газа). При вычислении энтальпий ошибка от разницы объемов молей реального и идеального газов не вносится, так как теплоемкости газов отнесены к тому же объему моля (п. 3-01).

4-02. Объемы и массу воздуха и продуктов сгорания при сжигании твердых и жидких топлив определяют по приведенным ниже формулам.

Теоретическое количество сухого воздуха, необходимого для полного сгорания топлива (коэффициент избытка воздуха $\alpha=1$):

$$V^0 = 0,0889(C^p + 0,375S^{p_{ор+к}}) + 0,265H^p - 0,0333O^p, \text{ м}^3/\text{кг}; \quad (4-02)$$

$$L^0 = 0,115(C^p + 0,375S^{p_{ор+к}}) + 0,342H^p - 0,0431O^p, \text{ кг/кг}. \quad (4-03)$$

Теоретические (минимальные) объемы продуктов сгорания, полученные при полном сгорании топлива с теоретически необходимым количеством воздуха ($\alpha=1$):

теоретический объем азота

$$V_{N_2}^0 = 0,79V^0 + 0,8 \frac{N^p}{100}, \text{ м}^3/\text{кг}; \quad (4-04)$$

объем трехатомных газов

$$V_{RO_2}^0 = 1,866 \frac{C^p + 0,375S^{p_{ор+к}}}{100}, \text{ м}^3/\text{кг}; \quad (4-05)$$

теоретический объем водяных паров

$$V_{H_2O}^0 = 0,111H^p + 0,0124W^p + 0,0161V^0, \text{ м}^3/\text{кг}. \quad (4-06)$$

При наличии парового дутья или парового распыливания мазута при расходе пара G_{ϕ} , кг/кг, в величину $V_{H_2O}^0$ включается член $1,24G_{\phi}$.

При избытке воздуха $\alpha > 1$ расчет ведется по следующим формулам:

объем водяных паров

$$V_{H_2O} = V_{H_2O}^0 + 0,0161(\alpha - 1)V^0, \text{ м}^3/\text{кг}; \quad (4-07)$$

объем дымовых газов

$$V_r = V_{RO_2} + V_{N_2} + V_{H_2O} + (\alpha - 1)V^0, \text{ м}^3/\text{кг}; \quad (4-08)$$

объемные доли трехатомных газов, равные парциальным давлениям газов при общем давлении 1 кгс/см^2 ,

$$r_{RO_2} = \frac{V_{RO_2}}{V_r}; \quad (4-09)$$

$$r_{H_2O} = \frac{V_{H_2O}}{V_r}; \quad (4-10)$$

безразмерная концентрация золы в дымовых газах

$$\mu_{зп} = \frac{A^p a_{зп}}{100G_r}, \text{ кг/кг}, \quad (4-11)$$

где $a_{зп}$ — доля золы топлива, уносимой газами, определяется по табл. XVII—XIX, XXI;

масса дымовых газов

$$G_r = 1 - \frac{A^p}{100} + 1,306\alpha V^0, \text{ кг/кг}. \quad (4-12)$$

При наличии парового дутья или парового распыливания мазута к величине G_r добавляется член G_{ϕ} .

Особенности расчета при сжигании сланцев указаны в п. 4-11.

4-03. Объемы и масса воздуха и продуктов сгорания при сжигании 1 м^3 сухого газообразного топлива определяются по следующим формулам:

теоретическое количество воздуха

$$V^0 = 0,0476 \left[0,5CO + 0,5H_2 + 1,5H_2S + \right. \\ \left. + \Sigma \left(m + \frac{n}{4} \right) C_m H_n^* - O_2 \right], \text{ м}^3/\text{м}^3; \quad (4-13)$$

теоретический объем азота

$$V_{N_2}^0 = 0,79V^0 + \frac{N_2}{100}, \text{ м}^3/\text{м}^3; \quad (4-14)$$

объем трехатомных газов

$$V_{RO_2} = 0,01 [CO_2 + CO + H_2S + \Sigma m C_m H_n^*], \text{ м}^3/\text{м}^3; \quad (4-15)$$

теоретический объем водяных паров

$$V_{H_2O}^0 = 0,01 \left[H_2S + H_2 + \Sigma \frac{n}{2} C_m H_n^* + 0,124d_{г.тл} \right] + \\ + 0,0161V^0, \text{ м}^3/\text{м}^3, \quad (4-16)$$

где $d_{г.тл}$ — влагосодержание газообразного топлива, отнесенное к 1 м^3 сухого газа, г/м³.

Объемы и объемные доли газов при $\alpha > 1$ рассчитываются по формулам (4-07) — (4-10).

Плотность сухого газа при нормальных условиях

$$\rho_{г.тл}^0 = 0,01 [1,96CO_2 + 1,52H_2S + 1,25N_2 + 1,43O_2 + \\ + 1,25CO + 0,0899H_2 + \\ + \Sigma (0,536m + 0,045n) C_m H_n^*], \text{ кг/м}^3; \quad (4-17)$$

Масса дымовых газов

$$G_r = \rho_{г.тл}^0 + \frac{d_{г.тл}}{1000} + 1,306\alpha V^0, \text{ кг/м}^3. \quad (4-18)$$

4-04. В формулах для определения объема водяных паров (4-06), (4-07) и (4-16) влагосодержание воздуха d принято равным 10 г на 1 кг сухого воздуха. Если по заданию влагосодержание воздуха существенно отличается от указанного, то объем водяных паров, вычисленный по этим формулам, следует изменить на величину

$$\Delta V_{H_2O} = 0,0016\alpha V^0 (d - 10), \text{ м}^3/\text{кг} \text{ или } \text{м}^3/\text{м}^3, \quad (4-19)$$

а массу дымовых газов на величину

$$\Delta G_r = 0,0013\alpha V^0 (d - 10), \text{ кг/кг} \text{ или } \text{кг/м}^3. \quad (4-20)$$

4-05. Особенности расчета объемов при рециркуляции газов в котельном агрегате указаны в п. 4-10.

* Содержащиеся в топливе в небольшом количестве (до 3%) непредельные углеводороды неизвестного состава принимаются состоящими из C_2H_4 .

4-06. Энтальпия дымовых газов на 1 кг или на 1 м³ топлива подсчитывается по формуле

$$I = I_{\Gamma}^0 + (\alpha - 1) I_{\text{в}}^0, \text{ ккал/кг или ккал/м}^3. \quad (4-21)$$

Энтальпия газов при коэффициенте избытка воздуха $\alpha = 1$ и температуре газов ϑ , °C:

$$I_{\Gamma}^0 = V_{\text{RO}_2} (c\vartheta)_{\text{CO}_2} + V_{\text{N}_2}^0 (c\vartheta)_{\text{N}_2} + V_{\text{H}_2\text{O}}^0 (c\vartheta)_{\text{H}_2\text{O}}, \text{ ккал/кг или ккал/м}^3. \quad (4-22)$$

Энтальпия теоретически необходимого количества воздуха при нормальных условиях:

$$I_{\text{в}}^0 = V^0 (c\vartheta)_{\text{в}}, \text{ ккал/кг или ккал/м}^3. \quad (4-23)$$

Теоретические объемы сухого воздуха V^0 и газов V_{RO_2} , $V_{\text{N}_2}^0$ и $V_{\text{H}_2\text{O}}^0$ вычисляются по формулам п. 4-02 для твердого и жидкого и п. 4-03—для газообразного топлив.

Энтальпия 1 м³ влажного воздуха $(c\vartheta)_{\text{в}}$, углекислого газа $(c\vartheta)_{\text{CO}_2}$, азота $(c\vartheta)_{\text{N}_2}$ и водяных паров $(c\vartheta)_{\text{H}_2\text{O}}$ определяются по табл. XIII.

4-07. К энтальпии дымовых газов следует добавлять энтальпию золы, подсчитываемую по формуле

$$I_{\text{зл}} = (c\vartheta)_{\text{зл}} \frac{A^{\text{P}}}{100} a_{\text{ун}}, \text{ ккал/кг}, \quad (4-24)$$

где $(c\vartheta)_{\text{зл}}$ — энтальпия 1 кг золы, найденная по табл. XIII, ккал/кг;

$a_{\text{ун}}$ — доля золы топлива, уносимой газами, принимается по табл. XVII—XIX, XXI.

При наличии встроенных золоуловителей следует учитывать уменьшение содержания золы в дымовых газах для расположенных за золоуловителем поверхностей нагрева, к. п. д. встроенных золоуловителей принимаются при этом равными 0,4 — для жалюзийных, 0,75 — для батарейных циклонов и сопловых.

При приведенной величине уноса золы из топки

$$\frac{10^3 a_{\text{ун}} A^{\text{P}}}{Q_{\text{Pн}}} \leq 6$$

значением энтальпии золы можно пренебречь.

4-08. Для типовых топлив, характеристики которых приведены в табл. I и II, объемы и энтальпии воздуха и дымовых газов при $\alpha = 1$ представлены в табл. XI—XV.

4-09. Расчет объемов и энтальпий рекомендуется вести согласно табл. 4-1 и 4-2.

При составлении I-й таблицы рекомендуется для каждого значения коэффициента избытка воздуха определять величину I в пределах, немного превышающих реально возможные температуры в газоходах. Около величин I целесообразно помещать величину ΔI — раз-

Таблица 4-1

Объемы газов, объемные доли трехатомных газов, концентрация золы

Величины	Размерность	V^0	$V_{\text{N}_2}^0$	V_{RO_2}	$V_{\text{H}_2\text{O}}^0$	A^{P}
		газоходы				
Средние значения коэффициента α в газоходах	—					
$(\alpha - 1) V^0$	м ³ /кг					
$V_{\text{H}_2\text{O}} = V_{\text{H}_2\text{O}}^0 + 0,0161 (\alpha - 1) V^0$	"					
$V_{\Gamma} = V_{\text{RO}_2} + V_{\text{N}_2}^0 + V_{\text{H}_2\text{O}} + (\alpha - 1) V^0$	"					
$r_{\text{RO}_2} = \frac{V_{\text{RO}_2}}{V_{\Gamma}}$	—					
$r_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{V_{\text{H}_2\text{O}}}{V_{\Gamma}}$	—					
$r_{\text{п}} = r_{\text{RO}_2} + r_{\text{H}_2\text{O}}$	—					
$\mu_{\text{зл}} = \frac{A^{\text{P}} a_{\text{ун}}}{100 G_{\Gamma}}$	кг/кг					
$(A^{\text{P}}, \%)$						

ность двух соседних по вертикали значений I при одном значении α .

4-10. Рециркуляция газов в расчетах объемов и энтальпий продуктов сгорания учитывается на тракте от места ввода рециркулирующих газов в котельный агрегат до места их отбора.

Коэффициент рециркуляции:

$$r = \frac{V_{\text{рц}}}{V_{\text{г.отб}}}, \quad (4-25)$$

где $V_{\text{рц}}$ и $V_{\text{г.отб}}$ — объемы газов, отбираемых на рециркуляцию и в сечении газохода за местом отбора, м³/кг.

Объем газов в промежуточной точке тракта от места возврата до места отбора:

$$V_{\text{г.рц}} = V_{\Gamma} + r V_{\text{г.отб}}, \text{ м}^3/\text{кг}, \quad (4-26)$$

где V_{Γ} — объем газов в данной точке тракта без учета рециркуляции, м³/кг.

Энтальпия газов в месте возврата рециркулирующих газов после смешения:

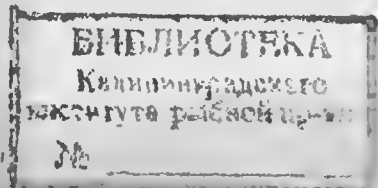
$$I_{\text{г.рц}} = I_{\Gamma} + r I_{\text{г.отб}}, \text{ ккал/кг}, \quad (4-27)$$

Энтальпия продуктов сгорания (I-й таблица)

Таблица 4-2

ϑ , °C	I_{Γ}^0 , ккал/кг	$I_{\text{в}}^0$, ккал/кг	$(c\vartheta)_{\text{зл}}$, ккал/(кг·°C)	$I_{\text{зл}} = (c\vartheta)_{\text{зл}} \frac{A^{\text{P}}}{100} a_{\text{ун}}$, ккал/кг	$I = I_{\Gamma}^0 + (\alpha - 1) I_{\text{в}}^0 + I_{\text{зл}}$, ккал/кг			
					α_1		α_2	
					I	ΔI	I	ΔI

Примечание. Значения α за газоходами.



Температура газов после смешения:

$$\theta_{г.рц} = \frac{I_{г.рц}}{(Vc)_{г.рц}}, \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (4-28)$$

где $(Vc)_{г.рц}$ — суммарная теплоемкость продуктов сгорания 1 кг топлива после смешения, определяется по формуле:

$$(Vc)_{г.рц} = (Vc)_г + r(Vc)_{г.отб}, \text{ ккал/(кг} \cdot ^\circ\text{C)}, \quad (4-29)$$

где $I_г$ и $(Vc)_г$ — энтальпия и суммарная теплоемкость газов перед смешением, ккал/кг и ккал/(кг · °C); $I_{г.отб}$ и $(Vc)_{г.отб}$ — то же для газов за местом отбора, ккал/кг и ккал/(кг · °C).

На дальнейших участках тракта до места отбора температура газов вычисляется при помощи суммарной теплоемкости, найденной по формуле (4-29), где $(Vc)_г$ и $(Vc)_{г.отб}$ принимаются по температуре в рассматриваемом сечении газотока.

При отборе газов из нижней части топки для суши топлива и возврате их в нее объемы и энтальпии рассчитываются без учета рециркуляции.

4-11. При сжигании сланцев объемы и масса продуктов сгорания вычисляются с поправками на разложение карбонатов¹.

При сгорании сланцев карбонаты частично или полностью разлагаются и выделяют двуокись углерода. Массовая доля выделившейся двуокиси углерода называется коэффициентом разложения карбонатов k , принимаемым равным при слоевом сжигании 0,7, при камерном — 1,0.

Расчетное содержание золы в топливе с учетом неразложившихся карбонатов приближенно равно:

$$A_{пк} = A_p + (1-k)(CO_2)_{пк}, \text{ } \%, \quad (4-30)$$

объем углекислого газа при нормальных условиях

$$V_{RO_2 \cdot к} = V_{RO_2} + \frac{0,509 (CO_2)_{пк} k}{100}, \text{ м}^3/\text{кг}; \quad (4-31)$$

объем газов

$$V_{г.к} = V_г + \frac{0,509 (CO_2)_{пк} k}{100}, \text{ м}^3/\text{кг}; \quad (4-32)$$

масса газов

$$G_{г.к} = 1 - \frac{A_{пк}}{100} + 1,306 \alpha V^0 + \frac{(CO_2)_{пк} k}{100}, \text{ кг/кг}; \quad (4-33)$$

объемные доли трехатомных газов

$$r_{RO_2 \cdot к} = \frac{V_{RO_2 \cdot к}}{V_{г.к}}, \quad r_{H_2O \cdot к} = \frac{V_{H_2O}}{V_{г.к}}.$$

4-12. При сжигании смеси топлив объемы и энтальпии продуктов сгорания рекомендуется рассчитывать для каждого топлива отдельно, на 1 кг твердого или жидкого топлива и на 1 м³ сухого газа.

По полученным для каждого топлива значениям объемов воздуха V^0 и продуктов сгорания V_{RO_2} , V_{N_2} , $V_{H_2O}^0$ определяются объемы воздуха и продуктов сгорания смеси:

а) для смеси двух однородных топлив (твердых, жидких или газообразных) — по формуле смешения

$$V^0 = g'V^{0'} + (1-g')V^{0''}, \text{ м}^3/\text{кг или м}^3/\text{м}^3, \quad (4-34)$$

где g' — массовая доля первого топлива в смеси, кг/кг.

¹ В табл. I приведены зольность сланцев на рабочую массу A_p и двуокись углерода карбонатов $(CO_2)_{пк}$.

По аналогичным формулам смешения определяются V_{RO_2} , $V_{N_2}^0$, $V_{H_2O}^0$ смеси;

б) для смеси твердого или жидкого топлива с газообразным

$$V^0 = V^{0'} + xV^{0''}, \text{ м}^3/\text{кг}, \quad (4-35)$$

где x — количество газа на 1 кг твердого или жидкого топлива, м³.

Соответственно дальнейший расчет ведется на 1 кг твердого или жидкого топлива.

Энтальпия продуктов сгорания смеси вычисляется по следующим формулам:

а) для смеси двух однородных топлив

$$I_{RO_2} = [g'V'_{RO_2} + (1-g')V''_{RO_2}] (c\theta)_{CO_2}, \text{ ккал/кг или ккал/м}^3; \quad (4-36)$$

б) для смеси твердого или жидкого топлива с газообразным

$$I_{RO_2} = (V'_{RO_2} + xV''_{RO_2}) (c\theta)_{CO_2}, \text{ ккал/кг} \quad (4-37)$$

и т. д.

Объемные доли трехатомных газов r_{RO_2} и r_{H_2O} для смеси топлив подсчитываются по формулам:

а) для смеси двух однородных топлив

$$r_{RO_2} = \frac{g'V'_{RO_2} + (1-g')V''_{RO_2}}{V_г}, \quad (4-38)$$

аналогично определяется r_{H_2O} ;

б) для смеси твердого или жидкого топлива с газообразным

$$r_{RO_2} = \frac{V'_{RO_2} + xV''_{RO_2}}{V_г}, \quad (4-39)$$

и соответственно определяется r_{H_2O} .

Плотность продуктов горения при 0 °C и 760 мм рт. ст. для смеси топлив находится по формулам:

а) для смеси однородных топлив

$$\rho = \frac{g'\rho'V'_г + (1-g')\rho''V''_г}{V_г}, \text{ кг/м}^3; \quad (4-40)$$

б) для смеси твердого или жидкого топлива с газообразным

$$\rho = \frac{\rho'V'_г + x\rho''V''_г}{V_г}, \text{ кг/м}^3. \quad (4-41)$$

Если смесь топлив задана не в массовых или объемных долях, а в долях тепловыделения каждого топлива q' и $(1-q')$, соответствующие массовые или объемные доли их определяются по формулам (2-12) или (2-14).

4-13. При системе пылеприготовления со сбросом мельничного воздуха во вторую камеру двухкамерной топki предтопок и шлакоулавливающий пучок рассчитываются по подсушенному топливу (сушенке). При определении объемов и энтальпий продуктов сгорания на 1 кг подсушенного топлива можно пользоваться соответствующими значениями для сырого топлива, пересчитывая их по следующим формулам:

доля испаренной влаги

$$\Delta W = 0,01 \left(W_p - W_n \frac{100 - W_p}{100 - W_n} \right), \quad (4-42)$$

где W_n — влажность пыли, %; теоретический объем воздуха

$$V^0_c = \frac{V^0}{1 - \Delta W}, \text{ м}^3/\text{кг}; \quad (4-43)$$

минимальный объем продуктов сгорания

$$V_{г.с}^0 = \frac{V_{г.с}^0 - 1,24\Delta W}{1 - \Delta W}, \text{ м}^3/\text{кг}; \quad (4-44)$$

минимальный объем водяных паров

$$V_{H_2O,с}^0 = \frac{V_{H_2O}^0 - 1,24\Delta W}{1 - \Delta W}, \text{ м}^3/\text{кг}; \quad (4-45)$$

энтальпия газов при $\alpha=1$

$$I_{г.с}^0 = \frac{I_{г.с}^0 - 1,24\Delta W (c_8)_{H_2O}}{1 - \Delta W}, \text{ ккал/кг}, \quad (4-46)$$

энтальпия теоретически необходимого количества воздуха

$$I_{в.с}^0 = \frac{I_{в.с}^0}{1 - \Delta W}, \text{ ккал/кг}. \quad (4-47)$$

4-Б. КОЭФФИЦИЕНТ ИЗБЫТКА ВОЗДУХА И ПРИСОСЫ В КОТЕЛЬНОМ АГРЕГАТЕ

4-14. Коэффициент избытка воздуха в топке, соответствующий составу газов в конце топки, принимается в зависимости от типа топочного устройства и рода сжигаемого топлива по данным табл. XVII—XXI.

Коэффициенты избытка воздуха α_t заданы, исходя из величин потерь от механического недожога, приведенных в табл. XVII—XXI. В случае отклонения q_4 от табличных значений $q_{4,тб}$ величина α_t увеличивается в отношении $\frac{100 - q_{4,тб}}{100 - q_4}$.

При этом для твердых топлив должен быть обеспечен коэффициент избытка воздуха в горелках $\alpha_t \geq 1,05$, который рассчитывается на поданное в горелки топливо.

При транспорте пыли горячим воздухом и сбросе запыленного сушильного агента в топку помимо горелок коэффициент избытка воздуха в горелках проверяется по формуле

$$\alpha_t = \frac{100 - q_4}{100\eta_{ц}} (\alpha_t - \Delta\alpha_t) - \frac{g_{г.в} + 1,5K_{пр}g_{с.а}}{\eta_{ц}L^0}, \quad (4-48)$$

где $\Delta\alpha_t$ — присос воздуха в топку, принимается по данным табл. XVI;

q_4 — потеря тепла с механическим недожогом, принимается по данным табл. XVII—XIX и XXI, %;

$g_{г.в}$ — количество горячего воздуха, расходуемого на сушку топлива, кг/кг;

$g_{с.а}$ — количество сушильного агента (включая дымовые газы), кг/кг;

$\eta_{ц}$ — к. п. д. пылевого циклона в долях единицы;

$K_{пр}$ — величина (доля) присоса воздуха в системе пылеприготовления.

Значения $g_{г.в}$, $g_{с.а}$, $\eta_{ц}$ и $K_{пр}$ берутся из расчета системы пылеприготовления.

Коэффициент запаса 1,5 в формуле (4-48) учитывает возможные нарушения плотности пылесистем в эксплуатации.

При сжигании пыли в смеси с газом или мазутом коэффициент избытка воздуха принимается, как для твердого топлива.

4-15. Величина коэффициента избытка воздуха в отдельных сечениях газового тракта котельного агрегата с уравновешенной тягой определяется путем суммирования коэффициента избытка воздуха в топке с присосами в газоходах, расположенных между топкой и рассматриваемым сечением.

Для котлов, работающих под наддувом, коэффициент избытка воздуха на участке тракта от топки до воздухоподогревателя принимается постоянным. Вели-

чина перетечки воздуха из воздушной в газовую сторону воздухоподогревателя учитывается при работе под наддувом так же, как и при уравновешенной тяге.

4-16. Присосы воздуха после монтажа, а также капитального ремонта котельных агрегатов должны соответствовать ПТЭ. Расчетные величины присосов воздуха в отдельных элементах котельного агрегата при номинальной нагрузке рекомендуется принимать по данным табл. XVI (с учетом возможных в эксплуатации нарушений плотности конструкции).

При применении более совершенных конструкций ограждений газоходов, для которых подтверждено уменьшение величины присоса, допускается принимать пониженные присосы.

Расчетная величина присоса воздуха в котельном агрегате при пониженной нагрузке $\Delta\alpha_D$ вычисляется по формуле

$$\Delta\alpha_D = \Delta\alpha \left(\frac{D_H}{D} \right)^{0,5}, \quad (4-49)$$

где D_H и D — значения номинальной и пониженной нагрузок;

$\Delta\alpha$ — присос воздуха при номинальной нагрузке.

Присос воздуха в топке при пониженной нагрузке

$$\Delta\alpha_D = \Delta\alpha \frac{D_H}{D}.$$

4-17. При определении расхода воздуха через воздухоподогреватель учитываются присосы в топке и системе пылеприготовления.

Количество воздуха на выходе из воздухоподогревателя, отнесенное к теоретически необходимому, находится по формуле

$$\beta''_{вп} = \alpha_t - \Delta\alpha_t - \Delta\alpha_{пл} \quad (4-50a)$$

и на входе (при отсутствии рециркуляции), в том числе и при работе под наддувом:

$$\beta'_{вп} = \beta''_{вп} + \Delta\alpha_{вп}, \quad (4-50б)$$

где $\Delta\alpha_{пл}$ — присос в системе пылеприготовления с учетом возможных нарушений плотности во время эксплуатации, определяется по табл. XVI. Присос в разомкнутых пылесистемах не учитывается;

$\Delta\alpha_{вп}$ — перетечка воздуха с воздушной стороны в газовую, принимается равной присосу воздуха в воздухоподогревателе.

4-18. Значения коэффициента избытка воздуха в топке α_t , приведенные в табл. XVII—XXI, принимаются при паропроизводительностях:

100—70% — при сжигании твердого топлива;

100—50% — при сжигании газа и мазута.

При снижении паропроизводительности при работе на твердом топливе от 70 до 50% коэффициент избытка воздуха повышается и его определяют по формуле

$$\alpha_{т,D} = \alpha_t + \left(0,7 - \frac{D}{D_H} \right). \quad (4-51a)$$

При снижении паропроизводительности при работе на газе и мазуте от 50 до 30% коэффициент избытка воздуха повышается и его подсчитывают по формуле

$$\alpha_{т,D} = \alpha_t + 0,5 \left(0,5 - \frac{D}{D_H} \right). \quad (4-51б)$$

В тех топочных устройствах, где расход основного количества воздуха определяется не только горением, но и транспортом топлива (топки Шершнева, шахтнотельничные и т. п.), избыток воздуха в топке при пониженной паропроизводительности следует выбирать с учетом условий транспорта.

При растопке котлов на мазуте или газе следует принимать α_t повышенным (до 3,0).

ГЛАВА ПЯТАЯ

ТЕПЛОВОЙ БАЛАНС КОТЕЛЬНОГО АГРЕГАТА

5-01. Составление теплового баланса котельного агрегата заключается в установлении равенства между поступившим в агрегат количеством тепла, называемым располагаемым теплом Q_{rp} , и суммой полезно использованного тепла Q_1 и тепловых потерь Q_2, Q_3, Q_4, Q_5 и Q_6 . На основании теплового баланса вычисляются к. п. д. и необходимый расход топлива.

Тепловой баланс составляется применительно к установившемуся тепловому состоянию котельного агрегата на 1 кг твердых и жидких и 1 м³ газообразных топлив при 0 °С и 760 мм рт. ст.

Общее уравнение теплового баланса имеет вид:

$$Q_{rp} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6, \text{ ккал/кг или ккал/м}^3. \quad (5-01)$$

5-02. Располагаемое тепло на 1 кг твердого или жидкого или на 1 м³ газообразного топлива Q_{rp} определяется соответственно по формулам

$$Q_{rp} = Q_{нр} + Q_{в.вн} + i_{тл} + Q_{ф} - Q_{к}, \text{ ккал/кг}, \quad (5-02)$$

$$Q_{rp} = Q_{нс} + Q_{в.вн} + i_{тл}, \text{ ккал/м}^3,$$

где $Q_{нр}$ и $Q_{нс}$ — низшая теплота сгорания рабочей массы твердого и жидкого и сухой массы газообразного топлива, ккал/кг и ккал/м³.

5-03. Тепло, внесенное поступающим в котельный агрегат воздухом, при подогреве последнего вне агрегата отборным паром, отработанным теплом и т. п., подсчитывается по формуле

$$Q_{в.вн} = \beta' [(I_{х.в}^0)' - I_{в}^0], \text{ ккал/кг или ккал/м}^3, \quad (5-03)$$

где β' — отношение количества воздуха на входе в котельный агрегат (в воздухоподогреватель) к теоретически необходимому; $(I_{х.в}^0)'$ и $I_{в}^0$ — энтальпии теоретически необходимого количества воздуха на входе в котельный агрегат и холодного воздуха, определяются по I-θ-таблице, ккал/кг или ккал/м³.

Температура холодного воздуха при отсутствии специальных указаний условно принимается равной 30 °С.

При установке высоконапорных вентиляторов с перепадом полных давлений в тракте $\Delta H_{п} > 1000 \text{ кгс/м}^2$ следует учитывать тепло, вносимое воздухом, подогретым в вентиляторе. Величина подогрева вычисляется по формуле

$$t''_{в} - t_{х.в} = 10^{-2} \Delta H_{п}, \text{ } ^\circ\text{С}, \quad (5-04)$$

где $t_{х.в}$ и $t''_{в}$ — температура воздуха до вентилятора и за ним.

5-04. Физическое тепло топлива $i_{тл}$ подсчитывается по формуле

$$i_{тл} = c_{тл} t_{тл}, \text{ ккал/кг или ккал/м}^3,$$

где $c_{тл}$ — теплоемкость рабочего топлива, определяемая по пп 3-13, 3-14, 3-15, ккал/(кг·°С) или ккал/(м³·°С); $t_{тл}$ — температура топлива, °С.

Физическое тепло топлива учитывается в тех случаях, когда оно предварительно подогрето посторонним источником тепла (паровой подогрев мазута, паровые сушилки и т. п.), а также при сушке по разомкнутому циклу. В последнем случае температуру и влажность топлива следует принимать по состоянию перед топкой.

При отсутствии постороннего подогрева физическое тепло может учитываться для топлива влажностью

$$W_p > \frac{Q_{нр}}{150}, \text{ } \%;$$

при этом температура топлива принимается 20 °С.

При замкнутой схеме пылеприготовления тепло подогрева и подсушки топлива в мельничной системе в балансе не учитывается.

В тех случаях, когда в котельный агрегат подается смерзшееся топливо (что должно быть специально оговорено в задании), из величины располагаемого тепла вычитается расход тепла, затрачиваемого на размораживание:

$$\Delta Q_{тл} = 0,8 \left(W_p - W^6 \frac{100 - W_p}{100 - W^6} \right), \text{ ккал/кг}, \quad (5-05)$$

где W^6 — безопасная (связанная) влажность, соответствующая равновесной влажности угля при 20 °С и 100%-ном насыщении. Для каменных углей и антрацита $W^6 = 4,5 \div 6\%$, для бурых углей приведенной влажности 10—16 $W^6 = 19 \div 24\%$, для бурых углей большей приведенной влажности — 28—30%.

5-05. Тепло, вносимое в агрегат паровым дутьем («форсуночным» паром), $Q_{ф}$ определяется по формуле

$$Q_{ф} = G_{ф} (i_{ф} - 600), \text{ ккал/кг}, \quad (5-06)$$

где $G_{ф}$ и $i_{ф}$ — расход и энтальпия пара, идущего на дутье или распыливание топлива, кг/кг и ккал/кг.

Расход пара принимается по указаниям п. 16 приложения II, А.

5-06. Тепло, затраченное на разложение карбонатов при сжигании сланцев, $Q_{к}$ подсчитывается по формуле

$$Q_{к} = 3,7 k (\text{CO}_2)_{кр}, \text{ ккал/кг}.$$

Коэффициент разложения карбонатов k принимается по п. 4-11.

5-07. Потери тепла в котельном агрегате

$$q_1 = \frac{Q_1}{Q_{rp}} 100, \text{ } \%.$$

Потеря тепла с уходящими газами определяется как разность энтальпий продуктов сгорания на выходе из котельного агрегата и холодного воздуха:

$$q_2 = \frac{Q_2}{Q_{rp}} 100 = \frac{(I_{гх} - \alpha_{гх} I_{х.в}^0) (100 - q_1)}{Q_{rp}}, \text{ } \%, \quad (5-07)$$

где $I_{гх}$ — энтальпия уходящих газов при соответствующих избытке воздуха $\alpha_{гх}$ и температуре $\theta_{гх}$, ккал/кг или ккал/м³; $I_{х.в}^0$ определяется по п. 5-03; q_1 — потеря от механической неполноты сгорания, %, находится по п. 5-09.

При сушке топлива по разомкнутой схеме пылеприготовления газами, отбираемыми за промежуточной поверхностью нагрева в количестве $V_{отб}$, м³/кг или м³/м³, потерю тепла q_2 определяется при расчете котла на подсушенное топливо по формуле

$$q_2 = \frac{[r/V_{отб} + (1 - r) I_{гх} - \alpha_{гх} I_{х.в}^0] (100 - q_1)}{Q_{rp}}, \text{ } \%, \quad (5-08)$$

где $r = V_{отб}/V_{г.отб}$ — доля газов, отобранных на сушку топлива; $V_{г.отб}$ — объем газов до места отбора, м³/кг или м³/м³; $I_{отб}$ — энтальпия газов в месте отбора, ккал/кг или ккал/м³; Q_{rp} — располагаемое тепло на 1 кг подсушенного топлива, ккал/кг.

При установке встроенного золоуловителя к величине $I_{гх}$ в формуле (5-07) добавляется член, учитываю-

ший дополнительную потерю тепла, вызываемую удалением золы при температуре $\vartheta_{зл}$:

$$\Delta I_{зл} = \eta_{зл} a_{ун} \frac{A^p}{100} [(c\vartheta)_{зл} - (c\vartheta_{ух})_{зл}], \text{ ккал/кг},$$

где $\eta_{зл}$ — к. п. д. золоуловителя, принимаемый по п. 4-07.

5-08. Потеря тепла от химической неполноты сгорания $q_3 = \frac{Q_3}{Q_{рп}} 100\%$ обусловлена суммарной теплотой

сгорания продуктов неполного горения, остающихся в уходящих газах.

При сжигании твердых топлив в камерных топках q_3 принимается по данным табл. XVII—XIX, при сжигании жидких и газообразных топлив — по табл. XX, при сжигании твердых топлив в слоевых топках — по табл. XXI.

5-09. Потеря тепла от механической неполноты сгорания определяется недожогом топлива в шлаках, провале и уносе (при частичном возврате последнего в топку учитывается только унос, не уловленный устройствами для возврата).

Величина q_4 рассчитывается по формуле

$$q_4 = \frac{Q_4}{Q_{рп}} 100 = \frac{\left(a_{шл+пр} \frac{G_{шл+пр}}{100 - G_{шл+пр}} + a_{ун} \frac{G_{ун}}{100 - G_{ун}} \right) 7800 A^p}{Q_{рп}}, \%, \quad (5-09)$$

где $a_{шл+пр}$ и $a_{ун}$ — доли золы топлива в шлаке, провале и уносе; $G_{шл+пр}$ и $G_{ун}$ — содержание горючих в шлаке, провале и уносе, %; A^p — зольность на рабочую массу топлива, %.

В табл. XVII—XIX даны значения q_4 для камерных топок с твердым и жидким шлакоудалением, в табл. XXI — $q_{4шл}$ и $q_{4пр}$ для слоевых топок и суммарные значения q_4 . Для обычных условий проектирования рекомендуется пользоваться величинами q_4 , приведенными в таблицах. При значительном отклонении зольности от указанной при сжигании в слоевых топках, а также при надежных данных о значениях a и G для определенных конструкций слоевых и камерных топок и заданных топлив q_4 вычисляется по формуле (5-09).

При сжигании пыли в смеси с газом или мазутом потеря тепла от механического недожога равна $a q_4$; q_4 и a принимаются по данным табл. XVII.

5-10. Потеря тепла от наружного охлаждения q_5 для стационарных котельных агрегатов принимается по данным рис. 5-1. При паропроизводительности котельного агрегата (корпуса) $> 900 \text{ т/ч}$ q_5 принимается равным 0,2%.

При нагрузках, отличающихся от номинальной более чем на 25%, величина q_5 пересчитывается по формуле

$$q_5 = q_{5ном} \frac{D_{н}}{D}, \%. \quad (5-10)$$

Потеря тепла от наружного охлаждения системы пылеприготовления невелика; она в значительной мере компенсируется теплом, выделяющимся при работе мельниц, и поэтому не учитывается.

Разбивка потери тепла от наружного охлаждения по отдельным газоходам практически не сказывается на результатах расчета. Доли этой потери, приходящиеся на отдельные газоходы, для упрощения принимаются пропорциональными количествам тепла, отдаваемым газами в соответствующих газоходах. Поэтому потери от наружного охлаждения учитываются введением

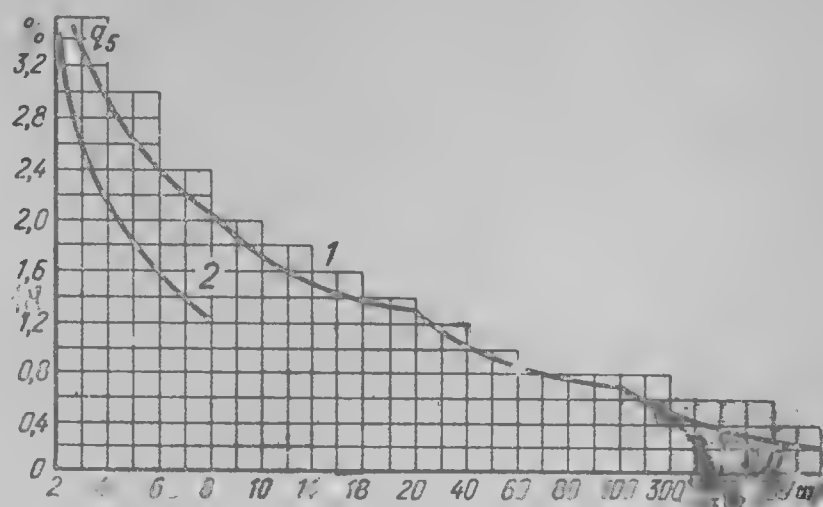


Рис. 5-1. Потери тепла от наружного охлаждения.

1 — котельный агрегат (с хвостовыми поверхностями); 2 — собственно котел (без хвостовых поверхностей).

в формулу для расчета количества тепла, отданного газами, коэффициента сохранения тепла:

$$\varphi = 1 - \frac{q_5}{\eta_{к.а} + q_5}. \quad (5-11)$$

5-11. Потеря с теплом шлака $q_{6шл}$ вводится в расчет для всех твердых топлив при камерном сжигании с жидким шлакоудалением и слоевом. При камерном сжигании с твердым шлакоудалением $q_{6шл}$ может не учитываться при $A^p \leq Q_{рп}/100$.

Потеря тепла определяется по формуле

$$q_{6шл} = \frac{Q_{6шл}}{Q_{рп}} 100 = \frac{a_{шл} (c\vartheta)_{зл} A^p}{Q_{рп}}, \%. \quad (5-12)$$

где $a_{шл} = 1 - a_{ун}$; $a_{ун}$ находится по данным табл. XVII—XIX и XXI; $(c\vartheta)_{зл}$ — энтальпия золы, ккал/кг, определяемая по табл. XIII.

Температура золы (шлака) при твердом шлакоудалении принимается равной 600°C , при жидком шлакоудалении — равной температуре нормального жидкого шлакоудаления $t_{н.ж}$ (табл. I), а при отсутствии данных — по температуре жидкоплавкого состояния золы t_z , увеличенной на 100°C .

При слоевом сжигании сланцев вместо A^p подставляется величина $A^p + 0,3(\text{CO}_2)_{кп}$, %. Содержание двуокиси углерода карбонатов $(\text{CO}_2)_{кп}$ приведено в табл. I (второе слагаемое в графе A^p). При камерном сжигании сланцев в величину A^p поправка на содержание углекислоты карбонатов не вводится.

5-12. Потеря тепла на охлаждение не включенных в циркуляционную схему котла панелей и балок топki $q_{6охл}$ при отсутствии специальных указаний определяется по формуле

$$q_{6охл} = \frac{Q_{6охл}}{Q_{рп}} 100, \%,$$

или приближенно

$$q_{6охл} \approx \frac{100 \cdot 10^3 H_{охл}}{Q_{к.а}} 100, \%, \quad (5-13)$$

где $H_{охл}$ — лучевоспринимающая поверхность балок и панелей, м^2 (для последних принимается в расчет только боковая, обращенная в топку поверхность);

$Q_{к.а}$ — полное количество тепла, полезно отданного в котельном агрегате, ккал/ч, находится по п. 5-14.

5-13. Суммарная потеря тепла в котельном агрегате $\Sigma q = q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_{6охл} + q_{6шл}, \%. \quad (5-14)$

Коэффициент полезного действия котельного агрегата (брутто)

$$\eta_{к.а} = 100 - \sum q, \% \quad (5-15)$$

5-14. Общее выражение для расчета полного количества тепла, полезно отданного в котельном агрегате, имеет вид:

$$Q_{к.а} = D_{пе} (i_{п.п} - i_{п.в}) + D_{н.п} (i_{н.п} - i_{п.в}) + D_{пр} (i_{кип} - i_{п.в}) + \sum [D_{вт} (i''_{вт} - i'_{вт})] + Q_{от}, \text{ ккал/ч}, \quad (5-16)$$

где $D_{пе}$ — количество выработанного перегретого пара, кг/ч;

$i_{п.п}$ — энтальпия перегретого пара, ккал/кг, находится по давлению и температуре у главной парозапорной задвижки по таблицам воды и водяного пара;

$D_{н.п}$ — количество насыщенного пара, кг/ч, отданного помимо перегревателя, с энтальпией $i_{п.п}$, ккал/кг, определяемой по давлению в барабане котла;

$D_{пр}$ — расход воды на продувку котла, кг/ч (для прямоточных сепараторных котлов — продувка сепаратора), с энтальпией при кипении $i_{кип}$, ккал/кг, подсчитываемой по давлению в барабане (сепараторе) котла;

$i_{п.в}$ — энтальпия питательной воды на входе в агрегат, ккал/кг;

$D_{вт}$ — расход пара через вторичный перегреватель, кг/ч, при начальной энтальпии $i'_{вт}$, ккал/кг, и конечной $i''_{вт}$, ккал/кг.

Знак Σ указывает, что при наличии более одного промежуточного перегрева тепловосприятия промежуточных перегревателей нужно суммировать;

$Q_{от}$ — тепловосприятие воды или воздуха, подогреваемых в котельном агрегате и отдаваемых на сторону, ккал/ч.

При величине продувки меньше 2% расход тепла на подогрев продувочной воды не учитывается.

5-15. Расход топлива, подаваемого в топку, определяется по формуле

$$B = \frac{Q_{к.а}}{Q_{р} \eta_{к.а}} 100, \text{ кг/ч}. \quad (5-17)$$

При сжигании смеси двух однородных (например, твердых) топлив по формуле (5-17) находится суммарный расход обоих топлив. Расход каждого топлива подсчитывается по принятому соотношению количеств обоих топлив (см. п. 2-21 и 2-22).

При сжигании смеси твердого (жидкого) и газообразного топлив по формуле (5-17) определяется расход твердого (жидкого) топлива. Расход газообразного топлива вычисляется по принятому соотношению количеств обоих топлив (см. п. 2-23).

Расход топлива и к. п. д. котельного агрегата при расчете на рабочее топливо в случае его подсушки уходящими газами по разомкнутому циклу рассчитываются по формулам

$$B = B' \frac{100 - W_{р'}}{100 - W_{р}}, \text{ кг/ч}; \quad (5-18)$$

$$\eta_{к.а} = \eta'_{к.а} \frac{B' Q_{р}'}{B Q_{р}}, \% \quad (5-19)$$

где обозначения со штрихом относятся к подсушенному, а без штриха — к рабочему (сырому) топливу. При определении $\eta_{к.а}$ в величину q_4 условно вводится потеря с уносом пыли из пылеуловителя, которая находится из расчета пылеприготовительной системы.

5-16. Для подсчета суммарных объемов продуктов сгорания, воздуха и тепла, отданного газами в поверхностях нагрева, вводится расчетный расход топлива, вычисляемый с учетом механической неполноты сгорания по формуле

$$B_{р} = B \left(1 - \frac{q_4}{100} \right), \text{ кг/ч}, \quad (5-20)$$

где B — полный расход топлива, кг/ч, поступающего в котельный агрегат, вычисленный по формуле (5-17).

В дальнейшем во все формулы для определения суммарных объемов и количеств тепла подставляется величина $B_{р}$. В величины удельных объемов газов и воздуха и их энтальпий поправка на механическую неполноту сгорания не вносится.

Расчет системы пылеприготовления горелок и топливозоподачи ведется по полному расходу топлива B , а тяги и дутья — по расчетному расходу $B_{р}$.

ГЛАВА ШЕСТАЯ

РАСЧЕТ ТЕПЛООБМЕНА В ТОПКЕ¹

6-А. ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТОПОК

6-01. Объем топочной камеры определяется в соответствии со схемами рис. 6-1. Границами объема являются осевые плоскости экранных труб или обращенные в топку поверхности защитного огнеупорного слоя; в местах, не защищенных экранами, — стены топочной камеры. В выходном сечении ее объем ограничивается поверхностью, проходящей через оси первого ряда ширмового пучка, фестона или котельного пучка. Границей объема нижней части топки служит под. При наличии холодной воронки за границу объема топки условно принимается горизонтальная плоскость, отделяющая ее нижнюю половину.

При расчете теплообмена объем ширм, расположенных в верхней части топки по всему поперечному се-

чению (рис. 6-2, поз. 1 и 2), а также занимающих часть поперечного сечения топки, в районе выходного окна (поз. 3), в объем топки не включается, а ширмовые пакеты рассчитываются по данным гл. 7. При другом расположении ширм (поз. 4, 5, 6) межширмовые объемы рассчитываются совместно с объемом топочной камеры.

При определении теплового напряжения топки qv объем, занимаемый ширмами, расположенными в верхней ее части и в районе выходного окна, включается в объем топки в том случае, если шаг ширм $s_1 \geq 700$ мм.

В слоевых топках объем ограничивается плоскостью колосниковой решетки и вертикальной плоскостью, проходящей через концы колосников, скребки шлакоснигателя или элементы шлакового подпора (рис. 6-1).

Для слоевых топок с цепными механическими решетками из объема, ограниченного снизу площадью колосникового полотна, исключается объем слоя топлива и шлака, средняя толщина которого принимается равной: для каменных углей — 150—200 мм, для бурых углей —

¹ Приведенные ниже методы расчета лучистого теплообмена не распространяются на расчет теплообмена в камерах сгорания высоконапорных парогенераторов.

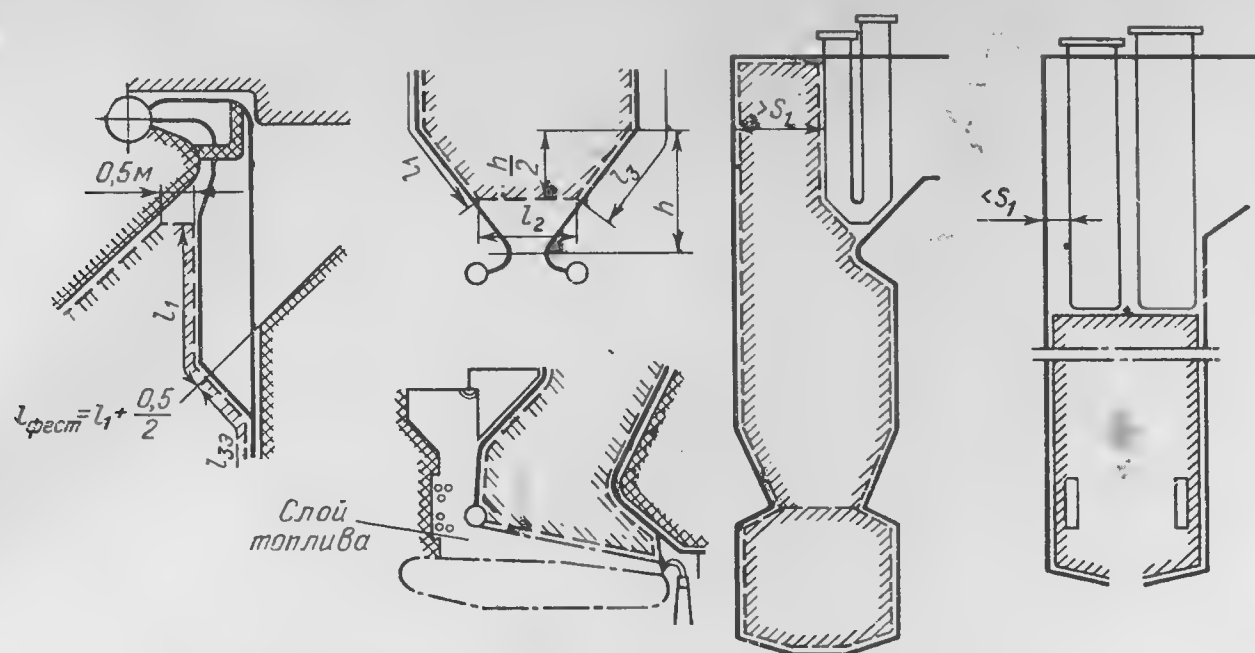


Рис. 6-1. К определению активного объема топки и освещенной длины экранных труб.

300 мм, для древесной щепы — 500 мм, для кускового торфа — в зависимости от положения балки, ограничивающей выход топлива на колосниковое полотно (рис. 6-1).

В топках с механическими забрасывателями толщина слоя топлива мала и при определении объема топки не учитывается.

Для топок системы Шершнева в активный объем включается объем шлаковой воронки.

6-02. Полная поверхность стен топки $F_{ст}$, m^2 , вычисляется по размерам поверхностей, ограничивающих объем топочной камеры (рис. 6-1).

Поверхность стен двусветных экранов и ширм определяется как удвоенное произведение расстояния между осями крайних труб этих экранов на освещенную длину труб.

При расчете камеры сгорания полуоткрытой топки площадь окна между камерой сгорания и камерой охлаждения включается в поверхность стен.

При наличии ширм, включаемых в объем топки, общая поверхность стен определяется как сумма поверхностей стен свободного объема $F_{свб}$, поверхностей ширм $F_{ш}$ и стен, прилегающих к ширмам, $F_{пр}$ с учетом неполного их освещения:

$$F_{ст} = F_{свб} + F_{ш}Z_{ш} + F_{пр}Z_{пр}.$$

(При определении величины $F_{свб}$ разделительная поверхность между свободным объемом и ширмами в расчет не вводится.)

Коэффициенты $Z_{ш}$ и $Z_{пр}$ характеризуют неравномерность освещенности ширм и прилегающих к ним экранов и определяются по п. 6-11

6-03. Лучевоспринимающая поверхность нагрева настенных и двусветных экранов находится как величина непрерывной плоскости, эквивалентной по тепловосприимчивости экрану из незагрязненных труб, и рассчитывается по формуле:

$$H_{л} = \Sigma F_{пл}x, \quad m^2, \quad (6-01)$$

где x — угловой коэффициент экрана, определяемый по п. 6-04; $F_{пл}$ — площадь стены, занятая экраном; определяется как произведение расстояния между осями крайних труб данного экрана b , м, на освещенную длину экранных труб l , м:

$$F_{пл} = bl, \quad m^2.$$

Величина l определяется в соответствии со схемами рис. 6-1.

При определении $F_{пл}$ исключаются не защищенные трубами участки стен, в том числе площадь горелок и сопел.

Для двусветных экранов и ширм

$$F_{пл} = F_{ст} = 2bl, \quad m^2.$$

При наличии ширм, включаемых в объем топочной камеры (рис. 6-2), их лучевоспринимающая поверхность $H_{л.ш}$ и лучевоспринимающая поверхность прилегающих к ним экранов $H_{л.пр}$ рассчитываются по формулам:

$$H_{л.ш} = F_{пл.ш}xZ_{ш}, \quad m^2; \quad (6-02)$$

$$H_{л.пр} = F_{пл.пр}xZ_{пр}, \quad m^2. \quad (6-03)$$

Степень экранирования топки:

$$\chi = H_{л}/F_{ст}. \quad (6-04)$$

6-04. Угловой коэффициент гладкотрубных экранов x в зависимости от их конструктивных характеристик определяется по номограмме 1. Для однорядных настенных экранов он принимается по кривым 1—4, поз. а (с учетом излучения обмуровки); для экранов двустороннего облучения — по кривой 5, поз. а (без учета излучения обмуровки); для двухрядных настенных экранов — по кривым поз. б; для гладкотрубных экранов, составленных из чередующихся труб разных диаметров, угловые коэффициенты всего экрана x и отдельно труб малого диаметра x_1 определяются по поз. в. В этом случае лучевоспринимающая поверхность всего экрана определяется как $F_{пл}x$, а лучевоспринимающая поверхность труб малого диаметра как $F_{пл}x_1$, где $F_{пл}$ — площадь всей стены, занятой экраном.

Для ошпированных и плавниковых экранов, а также для экранов, закрытых чугунными плитами, $x=1$.

Угловой коэффициент x поверхности, проходящей через первый ряд труб котельного пучка, фестона и ширм, расположенных в выходном окне топки, равен 1. При расчете последующих поверхностей нагрева следует учитывать, что угловой коэффициент самого пучка или

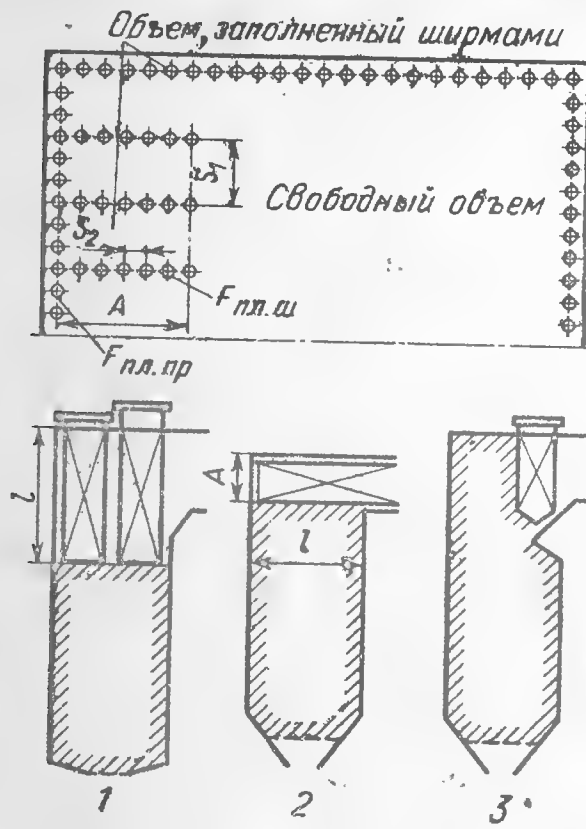


Рис. 6-2. К расчету топочной камеры с ширмами.

фестона может быть меньше единицы и часть падающего тепла проходит сквозь пучок на расположенные за ним поверхности нагрева.

Угловой коэффициент пучка, необходимый для расчета проходящего сквозь него излучения, определяется по номограмме 1, г.

Особенности расчета переизлучения из топки на ширмовые пакеты и расположенные за ними поверхности нагрева приведены в п. 7-04.

6-05. Эффективная толщина излучающего слоя в топке вычисляется по формуле

$$s = 3,6 \frac{V_{\text{т}}}{F_{\text{ст}}}, \text{ м}, \quad (6-05a)$$

где $V_{\text{т}}$ и $F_{\text{ст}}$ — объем и поверхность стен топочной камеры, м^3 и м^2 .

При наличии ширм, включаемых в объем топочной камеры (см. п. 6-01), эффективная толщина излучающего слоя определяется с учетом их поверхности $F_{\text{ш}}$ по формуле

$$s = \frac{3,6V_{\text{т}}}{F_{\text{свб}} + F_{\text{пр}} + F_{\text{ш}}} \left(1 + \frac{F_{\text{ш}}}{F_{\text{свб}} + F_{\text{пр}}} \frac{V_{\text{свб}}}{V_{\text{т}}} \right), \text{ м}, \quad (6-05б)$$

где $V_{\text{свб}}$ — часть объема топки, свободная от ширм, м^3 .

6-Б. СТЕПЕНЬ ЧЕРНОТЫ ФАКЕЛА

6-06. При расчетах излучения в топках различают пламя, образующееся при сжигании газа, мазута и твердых топлив.

Принимается, что в пламени газа и мазута основными излучающими компонентами являются трехатомные газы CO_2 и H_2O и взвешенные в них мельчайшие сажиные частицы; в пламени твердых топлив — трехатомные газы CO_2 и H_2O , частицы золы и кокса.

Эффективная степень черноты факела (топочной

среды) рассчитывается по формуле:

$$a_{\text{ф}} = 1 - e^{-kps}, \quad (6-06)$$

где e — основание натуральных логарифмов; k — коэффициент ослабления лучей топочной средой, $1/(\text{м} \cdot \text{кгс}/\text{см}^2)$; p — давление в топке, $\text{кгс}/\text{см}^2$; для котлов, работающих без наддува, принимается $p = 1 \text{ кгс}/\text{см}^2$; s — эффективная толщина излучающего слоя (см. п. 6-05).

Эффективная степень черноты факела $a_{\text{ф}}$ зависит от рода топлива и условий его сжигания. Она определяется эмиссионными характеристиками трехатомных газов CO_2 и H_2O и взвешенных в газах твердых частиц сажи, кокса и золы. Величина $a_{\text{ф}}$ для топки в целом рассчитывается по температуре и составу газов на выходе из топки. При расчете двухкамерной топки $a_{\text{ф}}$ для каждой камеры определяется по температуре и составу газов в конце камеры.

Для определения $a_{\text{ф}}$ служит номограмма 2.

В случае позонного расчета степень черноты факела нужно рассчитывать для зоны максимального тепловыделения и для зоны, расположенной на выходе из топки (если в выходной зоне размещаются топочные ширмы, для последней зоны — без ширм). При этом принимаются величина s для топки в целом и температура факела — на выходе из зоны. Для зоны, включающей ширмы, $a_{\text{ф}}$ определяется отдельно. При расчете s по формуле (6-05a) подставляют поверхности стен, зоны и ширм без учета сечений топочной камеры, ограничивающих зону рассматриваемую зону, а поверхности зоны вычисляют без введения коэффициента неравномерности освещенности Z .

6-07. При сжигании газообразного и жидкого топлива эффективная степень черноты факела определяется по формуле

$$a_{\text{ф}} = ma_{\text{св}} + (1-m)a_{\text{г}}, \quad (6-07)$$

где $a_{\text{св}}$ и $a_{\text{г}}$ — степень черноты, какой обладает бы факел при заполнении всей топки соответственно только светящимся пламенем или только несветящимися трехатомными газами; величины $a_{\text{св}}$ и $a_{\text{г}}$ определяются по

формулам:

$$a_{св} = 1 - e^{-(k_r r_n + k_c) ps}; \quad (6-06a)$$

$$a_r = 1 - e^{-k_r r_n ps}; \quad (6-06b)$$

m — коэффициент усреднения, зависящий от теплового напряжения топочного объема.

Для открытых и полукоткрытых топок при $qv \leq 350 \cdot 10^3$ ккал/(м³·ч) независимо от нагрузки $m = 0,1$ для газа и $m = 0,55$ для жидкого топлива. При $qv \geq 10^6$ ккал/(м³·ч) $m = 0,6$ для газа и $m = 1$ для мазута.

При $350 \cdot 10^3 < qv \leq 10^6$ ккал/(м³·ч) значение m определяется линейной интерполяцией.

При позонном расчете для зоны максимального тепловыделения $m = 1$ для мазута и $m = 0,6$ для газа. Для зоны, расположенной на выходе из топки, принимают $m = 0,2$ при сжигании мазута и $m = 0$ при сжигании газа.

При расчете двухкамерной топки на газе или мазуте степень черноты камеры сжигания и камеры охлаждения рассчитывается отдельно по значениям эффективной толщины излучающего слоя для каждой из них. Для первой $m = 1$, для второй $m = 0$.

Эффективный коэффициент ослабления лучей для трехатомных газов определяется по формуле:

$$k = k_r r_n = \left(\frac{0,78 + 1,6 r_{H_2O}}{V p_n} - 0,1 \right) \times \left(1 - 0,37 \frac{T''_T}{1000} \right) r_n, \quad 1/(м \cdot кгс/см^2), \quad (6-08)$$

где T''_T — температура газов в конце топки, К; $r_n = r_{RO_2} + r_{H_2O}$ — суммарная объемная доля трехатомных газов; $p_n = p r_n$ — суммарное парциальное давление газов, кгс/см².

Значения объемных долей r_{RO_2} и r_{H_2O} берутся из бланка табл. 4-1.

Для топок, работающих без наддува, парциальное давление газов численно равно объемной их доле.

Величина k_r определяется по номограмме 3.

Коэффициент ослабления лучей для светящегося топлива складывается из коэффициентов ослабления лучей трехатомными газами и сажистыми частицами:

$$k = k_r r_n + k_c, \quad 1/(м \cdot кгс/см^2). \quad (6-09)$$

Коэффициент ослабления лучей сажистыми части-

$$k_c = 0,03 (2 - \alpha_T) \left(1,6 \frac{T''_T}{1000} - 0,5 \right) \frac{Cp}{H_p}, \quad 1/(м \cdot кгс/см^2), \quad (6-10)$$

Cp/H_p — соотношение содержаний углерода и водорода в расходе массы топлива; для газового топлива:

$$\frac{Cp}{H_p} = 0,12 \frac{m}{n} C_m H_n, \quad (6-11)$$

m и n — количество атомов углерода и водорода в соединении.

При $\alpha_T > 2$ принимается $k_c = 0$.

6-08. При сжигании твердых топлив эффективная степень черноты факела определяется по формуле (6-03) или номограмме 2.

Коэффициент ослабления лучей топочной средой рассчитывается по формуле

$$k = k_r r_n + k_{эл} \mu_{эл} + k_{кокс} \kappa_1 \kappa_2, \quad 1/(м \cdot кгс/см^2). \quad (6-12)$$

Коэффициент ослабления лучей золовыми частицами

$$k_{эл} \mu_{эл} = \frac{4300 \rho_T \mu_{эл}}{\sqrt{T''_T d_{эл}^2}}, \quad 1/(м \cdot кгс/см^2), \quad (6-13)$$

где ρ_T — плотность дымовых газов, принимаемая равной 1,3 кг/м³; $\mu_{эл}$ — безразмерная концентрация золы в дымовых газах, определяемая по формуле (4-11).

При определении величины $\mu_{эл}$ для камеры сгорания и шлакоулавливающего пучка в формулу (4-11)

место $a_{вн}$ подставляется величина $\frac{1 + a_{вн}}{2}$; $d_{эл}$ — средний (по удельной поверхности) диаметр золовых частиц, мм; его значения приведены в табл. 6-1.

Таблица 6-

опочное устройство	Топливо	Эффективный диаметр частиц золы $d_{эл}$, мм
Камерные топки, шаровые барабанные мельницы	Все топлива	13
Камерные топки; среднеходные и молотковые мельницы	Все топлива, кроме торфа	13
Камерные топки	Торф	2
Циклонные топки	Пыль	1
То же	Дробленка	20
Дробильные топки	Все топлива	20

$k_{эл}$ определяется по номограмме 4; $k_{кокс} \kappa_1 \kappa_2$ в формуле (6-12) — эффективный коэффициент ослабления лучей коксовыми частицами; $k_{кокс} = 1$. Безразмерные величины κ_1 и κ_2 , учитывающие влияние концентрации коксовых частиц в факеле, зависят от рода топлива (κ_1) и способа его сжигания (κ_2). Для низкорреакционных топлив (АШ, ПА, Т) $\kappa_1 = 1$; для высокорреакционных (каменные и бурые угли, торф, сланцы, древесина) — $\kappa_1 = 0,5$. При камерном сжигании топлив $\kappa_2 = 0,1$; при $\kappa_2 = 0,05$.

При позонном расчете для зоны максимального тепловыделения принимается $\kappa_2 = 0,4$, а для зоны, расположенной на выходе из топки, $\kappa_2 = 0$.

При расчете двухкамерных топок для камеры сгорания и шлакоулавливающего пучка $\kappa_2 = 0,4$, для камеры охлаждения

$$\kappa_2 = \frac{q'_4 - q''_4}{200}, \quad (6-14)$$

где q'_4 и q''_4 — величины механического недожога на входе в камеру и выходе из нее, %.

6-09. При сжигании смеси топлив коэффициент ослабления лучей топочной средой определяется по формуле

$$k = k_r r_n + (k_{эл} \mu_{эл})^{сж} + (k_{кокс} \kappa_1 \kappa_2)^{сж} + k_c, \quad 1/(м \cdot кгс/см^2). \quad (6-15)$$

Коэффициент ослабления лучей трехатомными газами $k_r r_n$ продуктов сгорания смеси топлив определяется

по объемным долям r_{CO_2} и r_{H_2O} , рассчитываемым в соответствии с п. 4-12.

Коэффициент ослабления лучей золовыми частицами находится по уравнению

$$(k_{эл} \mu_{эл})^{см} = \sum q_i (k_{эл} \mu_{эл})_i, \quad 1/(м \cdot кгс/см^2), \quad (6-16)$$

где q_i — доля каждого топлива в суммарном тепловыделении; величина $(k_{эл} \mu_{эл})_i$ для каждого из топлив вычисляется по формуле (6-13).

Коэффициент ослабления лучей частицами кокса определяется по формуле

$$(k_{кокс} \mu_{кокс})^{см} = \sum q_i (k_{кокс} \mu_{кокс})_i, \quad 1/(м \cdot кгс/см^2), \quad (6-17)$$

где $(k_{кокс} \mu_{кокс})_i$ рассчитывается в соответствии с п. 6-08.

Коэффициент ослабления лучей сажистыми частицами находится по выражению

$$k^{см}_c = \sum q_i k_{c,i}, \quad 1/(м \cdot кгс/см^2), \quad (6-18)$$

где $k_{c,i}$ для каждого из топлив вычисляется по формуле (6-10).

Для твердых топлив принимается $k_c = 0$. При сжигании жидких и газообразных топлив излучение кокса и золы не учитывается.

6-10. При совместном сжигании твердого топлива и газа (мазута)

$$k = k_{гп} + q' k_{эл} \mu_{эл} + q' k_{кокс} \mu_{кокс} + (1 - q') k_c, \quad 1/(м \cdot кгс/см^2), \quad (6-19)$$

где q' — доля твердого топлива в суммарном тепловыделении.

Для твердого топлива двух видов k будет равен:

$$k = k_{гп} + q' k'_{эл} \mu'_{эл} + (1 - q') k''_{эл} \mu''_{эл} + q' k'_{кокс} \mu'_{кокс} + (1 - q') k''_{кокс} \mu''_{кокс}, \quad 1/(м \cdot кгс/см^2). \quad (6-20)$$

При совместном сжигании жидкого топлива и газа эффективная степень черноты факела рассчитывается по формуле (6-07) при значении коэффициента усреднения:

$$m = q' m' + (1 - q') m''. \quad (6-21)$$

Коэффициенты m' и m'' (соответственно для мазута и газа) определяются по п. 6-07.

Величины $a_{св}$ и $a_{г}$ находятся по формулам (6-06а) и (6-06б).

Коэффициент ослабления лучей, подставляемый в формулу (6-06а), вычисляется по уравнению

$$k = k_{гп} + q' k'_c + (1 - q') k''_c, \quad 1/(м \cdot кгс/см^2). \quad (6-22)$$

Величины k'_c для мазута и k''_c для газа определяются по формуле (6-10).

6-11. Коэффициенты, характеризующие неравномерность освещенности ширм и прилегающих к ним экранов, равны:

$$\left. \begin{aligned} z_{ш} &= \frac{a_{ш}}{a_{свб}}; \\ z_{пр} &= \frac{a_{пр}}{a_{свб}}, \end{aligned} \right\} \quad (6-23)$$

где

$$\left. \begin{aligned} a_{ш} &= a_{мш} + \varphi_{ш} c_{ш} a_{свб}; \\ a_{пр} &= a_{мш} + \varphi_{пр} c_{пр} a_{свб}. \end{aligned} \right\} \quad (6-24)$$

По формуле (6-06) или номограмме 2 подсчитывают степени черноты для свободного объема $a_{свб}$, для межширмового объема $a_{мш}$ при толщинах слоя соответственно $s_{свб}$ и $s_{ш}$. Последние находят по формуле (6-05а), при этом в $F_{ст}$ включается поверхность сечений, отделяющих рассматриваемый объем от соседних. Затем по

формуле (6-24) определяют значения степени черноты излучающей среды соответственно на ширмы $a_{ш}$ и экраны $a_{пр}$.

Коэффициенты облученности $\varphi_{ш}$ и $\varphi_{пр}$, а также поправочные коэффициенты $c_{ш}$ и $c_{пр}$, учитывающие влияние соотношения размеров межширмового объема — шага ширм s_1 , глубины ширм A и размера условного окна, обращенного к топочному объему l , определяют по номограмме 5. При этом необходимо иметь в виду следующее:

1) если поверхность, отделяющая ширмовую зону от свободного объема топки, располагается в двух плоскостях (рис. 6-2, поз. 4 и 6), то за условное окно, обращенное к топочному объему, принимают большую из разделяющих поверхностей, размером l ;

2) при определении $c_{ш}$ принимают $\omega = A/l$, если $A < s_1$, и $\omega = s_1/l$, если $A \geq s_1$. При определении $c_{пр}$ принимают $\omega = A/l$, если $l \geq s_1$, и $\omega = A/s_1$, если $l < s_1$;

3) степень черноты для среды, излучающей на экраны поверхности, прилегающие к ширмовой зоне и параллельные ширмам, $a_{пр} = a_{ш}$;

4) для расчета прилегающих к ширмам экранов, расположенных перпендикулярно ширмам и условному разделяющему окну, $\varphi_{пр}$ принимают по графику для $\varphi_{ш}$, а взамен A/s_1 принимают A/l . Коэффициент $c_{пр}$ принимают по графику $c_{ш}$;

5) для расчета прилегающих к ширмам экранов, параллельных условному разделяющему окну, применяют графики для $\varphi_{пр}$ и $c_{пр}$ по номограмме 5;

6) для топок с двумя свободными объемами (рис. 6-2, поз. 5) величину $a_{свб}$ определяют при среднеарифметической толщине излучающего слоя $s_{ср}$ для этих объемов, а второе слагаемое в формулах (6-24) удваивают.

6-В. РАСЧЕТ ТЕПЛООБМЕНА В ОДНОКАМЕРНЫХ И ПОЛУОТКРЫТЫХ ТОПКАХ

6-12. Расчет основывается на приложении теории подобия к топочным процессам.

Расчетная формула связывает безразмерную температуру газов на выходе из топки $\theta''_т$ с критерием Больцмана Bo , степенью черноты топки a_t и параметром M , учитывающим характер распределения температуры по высоте топки и зависящим от относительного местоположения максимума температуры пламени.

Исходной для расчета теплообмена является формула

$$\theta''_т = \frac{T''_т}{T_a} = \frac{Bo^{0,6}}{Ma^{0,6}_т + Bo^{0,6}}, \quad (6-25)$$

действительная для значений $\theta''_т \leq 0,9$.

Здесь $T''_т$ — абсолютная температура газов на выходе из топки, К; T_a — температура газов, которая была бы при адиабатическом сгорании, К.

Адиабатическая температура ϑ_a , °С, определяется по полезному тепловыделению в топке Q_t (формула 6-33), равному энтальпии продуктов сгорания I_a , при избытке воздуха в конце топки a_t .

6-13. Для однокамерных топок параметр M определяется в зависимости от относительного положения максимума температуры пламени по высоте топки x_t .

При сжигании мазута и газа

$$M = 0,54 - 0,2x_t. \quad (6-26)$$

При камерном сжигании высокорективных топлив и слоевом сжигании всех топлив

$$M = 0,59 - 0,5x_t. \quad (6-27)$$

При камерном сжигании малореактивных твердых топлив (АШ и Т), а также каменных углей с повышен-

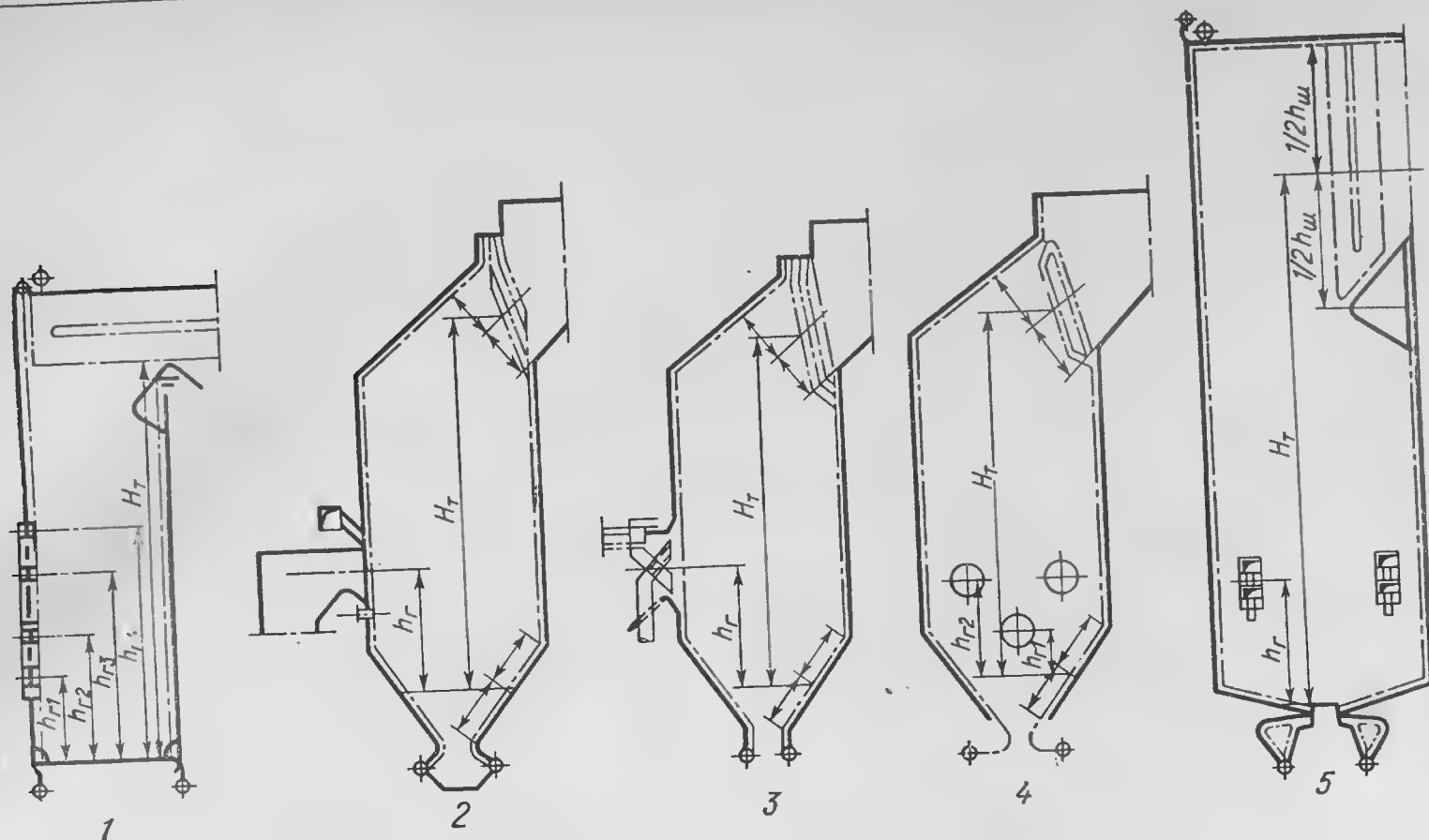


Рис. 6-3. К определению относительного уровня расположения горелок.

ной зольностью (типа экибастузского)

$$M = 0,56 - 0,5x_T \quad (6-27a)$$

Независимо от величины x_T (x_r) максимальное значение M в формулах (6-27) и (6-27a) принимается не выше 0,5 (для камерных топок).

Для полукотельных топок при сжигании высокорективных твердых топлив, газа и мазута $M = 0,48$, при сжигании АШ и Т $M = 0,46$.

6-14. Для камерных топок при горизонтальном расположении осей горелок и верхнем отводе газов из топки величину x_T принимают равной относительному уровню расположения горелок: $x_r = h_r / H_T$, представляющему собой отношение высоты расположения осей горелок h_r (от пода топки или середины холодной воронки) к общей высоте топки H_T (от пода топки или середины холодной воронки до середины выходного окна из топки или до ширм в случае полного заполнения ими верхней части топки, рис. 6-3).

При горизонтальном развитии факела и установке горелок на боковых стенах, потолке или в поду H_T обозначает расстояние от фронтальной стены до выходного окна топки.

При расположении горелок в несколько рядов

$$x_T = \frac{n_1 B_1 h_{r1} + n_2 B_2 h_{r2} + n_3 B_3 h_{r3} + \dots}{n_1 B_1 + n_2 B_2 + n_3 B_3 + \dots} \quad (6-28)$$

где B_1, B_2, B_3 — расход топлива соответственно через каждую горелку первого, второго и третьего рядов, кг/ч;

h_{r1}, h_{r2}, h_{r3} — высота, расположения осей первого, второго и третьего рядов горелок от пода или середины холодной воронки;

n_1, n_2, n_3 — количество горелок в первом, втором и третьем рядах.

Приведенные рекомендации по значениям M относятся к случаям, когда максимум температур факела

располагается на уровне горелок. В случаях, когда максимум температур располагается выше или ниже уровня горелок, к величине x_T следует вводить поправку Δx :

$$x_T = x_r + \Delta x.$$

При сжигании угольной пыли и фронтном или встречном расположении прямоточных горелок (кроме горелок с плоскими струями ППС), фронтном или встречном расположении вихревых горелок в несколько ярусов $\Delta x = 0,1$ для котлоагрегатов $D \leq 420$ т/ч и $\Delta x = 0,05$ — при $D > 420$ т/ч.

В инвертных топках при размещении пылеугольных горелок на потолке и нижнем отводе газов из топки ориентировочно $x_T \approx 0,25 \div 0,30$.

В шахтно-мельничных топках положение максимума температуры зависит от направления потоков топливно-воздушной смеси, поступающей в топочную камеру. В топках с открытыми или эжекционными амбраурами ЦКТИ $x_T = x_r$. При установке расщепителей, направляющих основную часть потока вниз, $x_T = x_r - 0,15$.

При сжигании газа и мазута с избытками воздуха в горелках $\alpha_r < 1$ $\Delta x = 2(1 - \alpha_r)$. Для котлов $D \leq 35$ т/ч при сжигании газа и мазута принимают $\Delta x = 0,15$.

При применении поворотных горелок поворот на 20° вниз приводит к понижению, а вверх — к повышению x_T на $\Delta x = 0,1$. При меньших углах поворота величины Δx соответственно интерполируются.

Для слоевых топок при сжигании топлива в тонком слое (топки с пневматическими забрасывателями) и в скоростных топках ЦКТИ системы Померанцева принимают $x_T = 0$. При сжигании топлива в толстом слое на подвижном или неподвижном колосниковом полотне $x_T = 0,14$.

6-15. Критерий Больцмана Bo рассчитывается по формуле:

$$Bo = \frac{\varphi B_p V_{csp}}{4,9 \cdot 10^{-8} \varphi_{cf} F_{ct} T_a^3} \quad (6-29)$$

где B_p — расчетный расход топлива, определяемый по формуле (5-20), кг/ч;

$F_{ст}$ — поверхность стен топки, определяемая по п. 6-02, м²;

$\psi_{ср}$ — среднее значение коэффициента тепловой эффективности экранов, определяемое по п. 6-20;

$4,9 \cdot 10^{-8}$ — коэффициент излучения абсолютно черного тела, ккал/(м² · ч · К⁴);

$V_{ср}$ — средняя суммарная теплоемкость продуктов сгорания 1 кг топлива в интервале температур $\vartheta_a - \vartheta''_t$, ккал/(кг · °С); определяется по п. 6-17;

φ — коэффициент сохранения тепла, определяемый по формуле (5-11).

6-16. Для расчетов используются следующие формулы.

При определении температуры газов на выходе из топки

$$\vartheta''_t = \frac{T_a}{M \left(\frac{4,9 \psi_{ср} F_{ст} T_a^3}{10^8 \varphi B_p V_{ср}} \right)^{0,6} + 1} - 273, \text{ °С.} \quad (6-30)$$

При определении поверхности стен топочной камеры

$$F_{ст} = \frac{B_p Q_{п}}{4,9 \cdot 10^{-8} a_{т} \psi_{ср} M \Gamma''_t T_a^3} \times \sqrt[3]{\frac{1}{M^2} \left(\frac{T_a}{\Gamma''_t} - 1 \right)^2}, \text{ м}^2. \quad (6-31)$$

Величина ϑ''_t может быть определена по номограмме 7. При заданной ϑ''_t и известном значении $\psi_{ср}$ с помощью номограммы можно определить величины $B_p Q_{п}/F_{ст}$ и $F_{ст}$.

6-17. Средняя суммарная теплоемкость продуктов сгорания 1 кг топлива

$$V_{ср} = \frac{Q_{п} - I''_t}{\vartheta_a - \vartheta''_t}, \text{ ккал/(кг · °С).} \quad (6-32)$$

где I''_t — энтальпия продуктов сгорания 1 кг топлива при температуре ϑ''_t и избытке воздуха в конце топки a_t , ккал/кг.

Полезное тепловыделение в топке

$$Q_{п} = Q_p \frac{100 - q_3 - q_4 - q_6}{100 - q_4} + Q_v - Q_{в.вн} + r I_{г.отб}, \text{ ккал/кг,} \quad (6-33)$$

где Q_p — располагаемое тепло топлива, ккал/кг, вычисляемое по формуле (5-02);

q_3, q_4, q_6 — потери тепла от химической неполноты сгорания, механического недожога, с теплом шлаков и охлаждающей водой, %;

Q_v — тепло, вносимое в топку воздухом, ккал/кг, рассчитываемое по формуле:

$$Q_v = (a_t - \Delta a_t - \Delta a_{пл}) I''_{в} + (\Delta a_t + \Delta a_{пл}) I''_{х.в}, \text{ ккал/кг.} \quad (6-34)$$

Величины присосов в топке Δa_t и в пылеприготовительной системе $\Delta a_{пл}$ определяются по табл. XVI. Энтальпии теоретически необходимого количества воздуха $I''_{в}$ при температуре за воздухоподогревателем и холодного воздуха $I''_{х.в}$ принимаются по табл. XIV и XV;

$Q_{в.вн}$ — тепло, внесенное с поступающим в агрегат воздухом при подогреве его вне агрегата (см. п. 5-03), ккал/кг;

$r I_{г.отб}$ — тепло рециркулирующих газов, учитываемое только в случае возврата в топку части газов, отобранных из газоходов котельного агрегата или из верхней части топки (см. п. 4-10), ккал/кг.

Если рециркулируемые газы вводятся перед выходным сечением топки, то при расчете топочной камеры рециркуляция не учитывается, а температура на входе в следующую поверхность нагрева определяется по уравнению смешения.

6-18. Количество тепла, воспринятое в топке на 1 кг топлива,

$$Q_{п} = \varphi (Q_{п} - I''_t), \text{ ккал/кг.} \quad (6-35)$$

6-19. Степень черноты экранированных камерных и слоевых топок определяется по формуле

$$a_t = \frac{a_{\phi} + (1 - a_{\phi}) \rho}{1 - (1 - a_{\phi}) (1 - \psi_{ср}) (1 - \rho)}, \quad (6-36)$$

где ρ — соотношение между площадью зеркала горения и полной поверхностью стен топки,

$$\rho = \frac{R}{F_{ст}}, \quad (6-37)$$

R — площадь зеркала горения слоя топлива, расположенного на колосниковой решетке, м².

Для камерных топок ($\rho=0$) формула (6-36) принимает вид:

$$a_t = \frac{a_{\phi}}{a_{\phi} + (1 - a_{\phi}) \psi_{ср}}. \quad (6-38)$$

Величину a_t можно определить по номограмме 6.

При позонном расчете топки величина a_t рассчитывается для зон максимального тепловыделения и на выходе из топки по значениям a_{ϕ} (п. 6-06). Для промежуточных зон величину a_t находят путем линейной интерполяции. Для зоны, включающей топочные ширмы, a_t рассчитывается по величине a_{ϕ} в данной зоне (п. 6-06).

6-20. Коэффициент тепловой эффективности экранов равен произведению углового коэффициента экрана на коэффициент, учитывающий загрязнение:

$$\psi = x \zeta. \quad (6-39)$$

Если стены топки закрыты экранами с разными угловыми коэффициентами x или экраны покрывают часть поверхности стен, среднее значение коэффициента эффективности составит:

$$\psi_{ср} = \frac{\sum \psi_i F_{ст,i}}{F_{ст}}. \quad (6-40)$$

Для неэкранированных участков топочных стен принимается $\psi=0$.

Величина углового коэффициента экранов x определяется по п. 6-04.

Коэффициент ζ , учитывающий снижение тепловосприятия вследствие загрязнения или закрытия изоляцией поверхностей, принимается по табл. 6-2.

Для ошипованных экранов, покрытых огнеупорной массой, в топках с жидким шлакоудалением ζ рассчитывается по формуле

$$\zeta = b \left(0,53 - 0,25 \frac{t_{пл,з}}{1000} \right), \quad (6-41)$$

где $t_{пл,з}$ — температура плавления шлака, °С;

b — опытный коэффициент; для однокамерных и двухкамерных топок $b=1,0$, для полутоткрытых топок $b=1,2$.

При отсутствии данных о температуре плавления шлака $t_{ш.л.}$ ее значение принимается на 50° ниже средней температуры жидкоплавкового состояния золы топлива t_z .

При сжигании АШ с $\Gamma_{ун} < 12\%$ и тощего угля с $\Gamma_{ун} < 8\%$ принимается $\xi = 0,35$. При работе топki на разных топливах коэффициент загрязнения ξ выбирается по топливу, вызывающему наибольшее загрязнение.

Для двусветных экранов и ширм (кроме ширм типа «щек»), включаемых в активный объем топki (п. 6-01), величина ξ уменьшается на 0,1 по сравнению с ее значением для настенных экранов и на 0,05 — для цельносварных экранов и ширм.

Для плоскости, отделяющей топку от ширм, величина ξ (по табл. 6-2) умножается на коэффициент β , учитывающий взаимный теплообмен между топкой и ширмами

$$\xi_{ш} = \xi \beta. \quad (6-42)$$

Коэффициент β определяется по рис. 6-4 в зависимости от температуры газов в конце топki и рода сжигаемого топлива.

6-21. При сжигании смеси топлив коэффициенты ξ и M определяются по формуле смешения пропорционально долям тепловыделения q_i :

$$\xi = q' \xi' + (1 - q') \xi''; \quad (6-43)$$

$$M = q' M' + (1 - q') M''. \quad (6-44)$$

Величина x_t определяется в соответствии с п. 6-14 при

$$x_t = q' x'_t + (1 - q') x''_t. \quad (6-45)$$

Таблица 6-2

Тип экрана	Род топлива	Коэффициент $\xi = \phi/x$
Открытые гладкотрубные и плавниковые настенные экраны	Газообразное топливо	0,65
	Мазут	0,55
	АШ и ПА при $\Gamma_{ун} \geq 12\%$, тощий уголь при $\Gamma_{ун} \geq 8\%$, каменные и бурые угли, фрезерный торф	0,45
	Экибастусский уголь при $R_{90} \leq 15\%$	0,35—0,40*
	Бурые угли с $W^H \geq 14$ при газовой сушке и прямом вдувании	0,55
	Сланцы северо-западных месторождений	0,25
	Все топлива при слоевом сжигании	0,60
Ошипованные экраны, покрытые огнеупорной массой, в топках с твердым шлакоудалением	Все топлива	0,20
	Экраны, закрытые шамотным кирпичом	0,10

* Меньшее значение при $q_F \leq 3 \cdot 10^6$, большее при $q_F \geq 5 \cdot 10^6$ ккал/м² · ч.

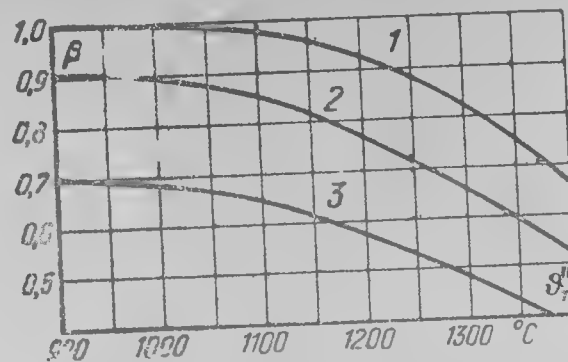


Рис. 6-4. Коэффициент β , учитывающий взаимный теплообмен между топкой и ширмовым перегревателем.
1 — твердое топливо; 2 — мазут; 3 — газ.

Величина критерия Больцмана Bo при сжигании смеси твердых или твердого и жидкого топлив определяется по суммарному расходу обоих топлив и объему продуктов сгорания, приходящемуся на 1 кг смеси топлив.

При сжигании твердого (жидкого) топлива и газа величина Bo рассчитывается по расходу твердого (жидкого) топлива и объему продуктов сгорания смеси, приходящемуся на 1 кг твердого (жидкого) топлива.

6-Г. РАСЧЕТ ТЕПЛООБМЕНА В ДВУХКАМЕРНЫХ ТОПКАХ

6-22. Теплообмен в двухкамерных топках рассчитывается отдельно для камеры сгорания и камеры охлаждения. Принципиальные основы метода расчета изложены в приложении V.

6-23. Значения потерь тепла от химического и механического недожога в предтопках и первых камерах двухкамерных топok принимаются по табл. XIX.

Для упрощения условно принимается, что в шлакоулавливающем пучке догорания не происходит.

Расчетный суммарный расход топлива для предтопок (камер сгорания) определяется по формуле (5-20) при соответствующем значении q_4 .

Коэффициент избытка воздуха в предтопке выбирается по табл. XIX на поданное топливо и приводится к расчетному расходу последнего. Если задан коэффициент избытка воздуха в конце камеры охлаждения α_t , то $\alpha_{пр}$ определяется по формуле:

$$\alpha_{пр} = (\alpha_t - \Delta \alpha_t) \frac{100 - q_4}{100 - q_{4пр}}, \quad (6-46)$$

где α_t — коэффициент избытка воздуха в конце камеры охлаждения;

$\Delta \alpha_t$ — присос воздуха в топке (относится целиком к камере охлаждения), принимается по табл. XVI;

$q_4, q_{4пр}$ — потери от механического недожога для топki в целом и для предтопка (камеры сгорания), %; принимаются по табл. XIX.

6-24. Для расчета теплообмена в предтопках (камерах сгорания) и камерах охлаждения используются следующие уравнения.

Уравнение теплообмена:

$$Q_{пл} = 4,9 \cdot 10^{-8} \frac{a_k H_{пл}}{B_p} (T_{4ф}^4 - T_{4з}^4), \text{ ккал/кг}, \quad (6-47)$$

где $Q_{пл}$ — тепло, переданное излучением, ккал/кг;
 a_k — приведенная степень черноты камеры;

* В дальнейшем для предтопок и камер охлаждения применены общие обозначения.

T_z — температура наружного слоя (загрязнения) лучевоспринимающей поверхности, К;
 $H_{\text{л}}$ — лучевоспринимающая поверхность нагрева, м^2 , включая плоскость раздела между предтопками и второй камерой и исключая площадь утепленного пода; определяется по п. 6-03;
 $B_{\text{р}}$ — расчетный расход топлива; для предтопка определяется по значению $q_{4\text{пр}}$, при полуразомкнутой схеме — по п. 6-33;
 $T_{\text{ф}}$ — эффективная температура топочной среды, К.
 Уравнение теплового баланса:

$$Q_{\text{л}} + Q_{\text{к}} = \varphi(Q_{\text{т}} - I''_{\text{т}}), \text{ ккал/кг}, \quad (6-48)$$

где $Q_{\text{т}}$ — полезное тепловыделение в камере, ккал/кг , определяемое по п. 6-26;

φ — коэффициент сохранения тепла;

$I''_{\text{т}}$ — энтальпия продуктов сгорания 1 кг топлива при температуре на выходе из камеры сгорания или охлаждения и соответствующем избытке воздуха $\alpha_{\text{т}}$, ккал/кг ;

$Q_{\text{к}}$ — тепло, переданное конвекцией на 1 кг топлива; учитывается только при расчете горизонтальных циклонов и вертикальных циклонных предтопок и определяется по п. 6-31. Для других конструкций предтопок и камер сгорания $Q_{\text{к}} = 0$.

6-25. Эффективная температура топочной среды рассчитывается следующим образом:
 для камер сгорания

$$T_{\text{ф}} = 0,925 \sqrt{T_{\text{а}} T''_{\text{т}}}, \text{ К}; \quad (6-49)$$

для камер охлаждения

$$T_{\text{ф}} = 1,05 T''_{\text{т}}, \text{ К}. \quad (6-50)$$

Здесь $T_{\text{а}}$ — адиабатическая температура сгорания в предтопке, К; величина $\vartheta_{\text{а}}$, $^{\circ}\text{C}$, определяется по энтальпии газов $I_{\text{а}}$, принимаемой равной $Q_{\text{т}}$, и при избытке воздуха в конце предтопка;

$T''_{\text{т}}$ — температура газов за предтопком — в формуле (6-49) и за камерой охлаждения — в формуле (6-50).

6-26. Полезное тепловыделение в предтопке

$$Q_{\text{т.пр}} = Q_{\text{р}} \frac{100 - q_{3\text{пр}} - q_{4\text{пр}} - q_{6\text{шл}}}{100 - q_{4\text{пр}}} + Q_{\text{в.пр}} - Q_{\text{в.вн}}, \text{ ккал/кг}, \quad (6-51)$$

где $Q_{\text{р}}$ и $Q_{\text{в.вн}}$ — см. п. 6-17;

$q_{3\text{пр}}$ и $q_{6\text{шл}}$ — потери тепла от химической неполноты сгорания в предтопке и с теплом шлаков;

$Q_{\text{в.пр}}$ — тепло, вносимое в предтопок воздухом, ккал/кг ,

$$Q_{\text{в.пр}} = \left(\alpha_{\text{пр}} - \Delta \alpha_{\text{пл}} \frac{100 - q_4}{100 - q_{4\text{пр}}} \right) I''_{\text{в}} + \Delta \alpha_{\text{пл}} \frac{100 - q_4}{100 - q_{4\text{пр}}} I''_{\text{х.в}}, \text{ ккал/кг}, \quad (6-52)$$

где $q_{4\text{пр}}$ — потери от механического недожога в предтопке, %.

Определение величин $\Delta \alpha_{\text{пл}}$ и I'' даны в пояснении к формуле (6-34).

Энтальпия газов на входе в камеру охлаждения

$$I' = Q_{\text{р}} \frac{100 - q_3 - q_4 - q_{6\text{шл}}}{100 - q_4} + Q_{\text{в}} - Q_{\text{в.вн}} - \frac{B_{\text{р.пр}} (Q_{\text{л}} + Q_{\text{к}})_{\text{пр}}}{\varphi B_{\text{р}}} Z_{\text{пр}} - \frac{Z_{\text{пр}} B_{\text{р.пр}} Q_{\text{ш.п}}}{\varphi B_{\text{р}}}, \text{ ккал/кг}. \quad (6-53)$$

В отличие от формулы (6-51) q_3 здесь берется для топки в целом. Для определения $Q_{\text{в}}$ служит формула (6-34).

$Z_{\text{пр}}$ — число работающих предтопок;

$B_{\text{р.пр}}$ — расчетный расход топлива на предтопок, кг/ч ;

$(Q_{\text{л}} + Q_{\text{к}})_{\text{пр}}$ — тепло, переданное в предтопке, ккал/кг ; вычисляется по уравнению (6-48);

$Q_{\text{ш.п}}$ — тепло, переданное в шлакоулавливающем пучке, ккал/кг ; определяется по п. 6-34.

Начальная температура $\vartheta' = \vartheta_{\text{а}}$ для камеры охлаждения находится по энтальпии газов на входе в нее I' при избытке воздуха в конце топки $\alpha_{\text{т}}$.

6-27. Температура наружного слоя (загрязнения) лучевоспринимающей поверхности в камере охлаждения определяется по формуле

$$T_z = T_{\text{ср}} + \left(\epsilon + \frac{1}{\alpha_2} \right) \frac{B_{\text{р}} Q_{\text{л}}}{H_{\text{л}}}, \text{ К}, \quad (6-54)$$

где $T_{\text{ср}}$ — средняя температура среды, К. Если $T_{\text{ср}}$ неодинакова, усреднение производится пропорционально лучевоспринимающей поверхности нагрева;

α_2 — коэффициент теплоотдачи от стенки к внутренней среде, $\text{ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^{\circ}\text{C})$, учитываемый только при расчете перегревателей радиационных поверхностей нагрева (см. п. 7-27);

$Q_{\text{л}}$ — тепловосприятие радиационных поверхностей нагрева, ккал/кг ; находится из уравнения баланса (6-48) по предварительно принятой температуре газов на выходе из камеры охлаждения;

$\epsilon = \delta_3 / \lambda_3$ — тепловое сопротивление загрязняющего слоя на наружной поверхности трубы или слоя огнеупорной массы и шлака на ошипованных экранах. Значения ϵ приведены в табл. 6-3.

Таблица 6-3

Тип экрана	Род топлива	$(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^{\circ}\text{C}) / \text{ккал}$
Открытые гладкотрубные и плавниковые экраны	Газообразное топливо	0
	Мазут	0,002
	Пылевидное топливо (кроме сланцев)	0,004
Ошипованные экраны, покрытые огнеупорной массой	Сланцы северо-западных месторождений	0,007
	Все топлива	0,008
Экраны, закрытые шамотным кирпичом	То же	0,010

Примечания: 1. При сжигании газа после пыли без очистки топки принимаются значения ϵ , полученные для пыли. При сжигании газа после мазута первоначальное загрязнение соответствует мазутному, но со временем уменьшается.

2. При сжигании АШ с $\Gamma_{\text{ун}} < 12\%$ и тощего угля с $\Gamma_{\text{ун}} < 8\%$ принимается $\epsilon = 0,006$.

3. При шлаковании топки ϵ может увеличиться до 0,010 $(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^{\circ}\text{C}) / \text{ккал}$.

При наличии в камере охлаждения не только гладкотрубных, но и ошипованных экранов вводится усред-

ненное по всей лучевоспринимающей поверхности значение ϵ :

$$\epsilon_{ср} = 0,75 \frac{H_{л.опл}}{H_{л.}} \epsilon_{опл} + \left(1 - 0,75 \frac{H_{л.опл}}{H_{л.}}\right) \epsilon_{пл.} \quad (6-55)$$

6-28. Температура загрязненной лучевоспринимающей поверхности T_z в камерах сгорания (предтопках) определяется по температуре наружного слоя пленки жидкого шлака $T_{пл}$. Последняя может быть получена путем совместного решения уравнения теплообмена от факела к пленке и уравнения теплопроводности через текущую шлаковую пленку, толщина которой рассчитывается с учетом вязкостных свойств шлака, его количества и динамического воздействия факела.

Безразмерный перепад температуры в шлаковой пленке

$$\Lambda_{пл} = \frac{t_{пл} - t_0}{T_{ф.}} \quad (6-56a)$$

Здесь $t_{пл}$ — температура наружного слоя жидкой пленки шлака, °С;

t_0 — критическая температура для шлака (истинно жидкого состояния), °С;

$T_{ф.}$ — средняя (эффективная) температура факела, К.

Вязкостная характеристика шлака

$$\varphi = \frac{\mu_0}{\mu} \frac{1}{t - t_0} \quad (6-56b)$$

где μ_0 и μ — коэффициенты вязкости шлака при критической температуре t_0 и температуре $t > t_0$.

Параметр, характеризующий толщину пленки шлака,

$$A = \sqrt[3]{\frac{G_0 \mu_0 a_{пл}}{\rho_{пл}^2 u r_{пл}}}, \text{ м;} \quad (6-56в)$$

G_0 — количество введенной в предтопок золы,

$$G_0 = \frac{B_{пр} A_{пр}}{3600 \cdot 100}, \text{ кг/сек;} \quad (6-56г)$$

$a_{пл}$ — коэффициент шлакоулавливания; $a_{пл} = 1 - a_{ун}$; $a_{ун}$ выбирается по табл. XIX;

$\rho_{пл}$ — плотность шлака, принимается равной 2400 кг/м^3 ;

u — смоченный шлаком периметр предтопка, м;

$r_{пл}$ — безразмерный коэффициент, определяется в зависимости от средней скорости газов в предтопке w_r (характеризующей динамическое воздействие факела на пленку шлака) по номограмме 8;

$$w_r = \frac{B_{пр} V_r T_{ср}}{3600 \cdot 273 F_{пр}}, \text{ м/сек;} \quad (6-57)$$

$F_{пр}$ — площадь сечения предтопка, м^2 .

Для определения $\Lambda_{пл}$ служит номограмма 8. Для этого предварительно вычисляются φ , A и скорость выхода вторичного воздуха из горелок (сопл) w_v , м/сек; для предтопков нециклонного типа принимают $w_v = 0$. В случае отсутствия данных о вязкостных характеристиках шлака t_0 принимается на 5, а μ_0 — на 15% ниже

соответствующих величин для золы топлива, приведенных в табл. I.

Вязкостная характеристика шлака φ обычно изменяется в пределах от 0,012 для «длинных» шлаков (например, АШ) до 0,018 для «коротких» (шлаки назаровского угля). При отсутствии необходимых данных величина φ принимается в пределах указанного. В номограмме 8 приведены крайние значения параметра $r_{пл}$ для АШ и назаровского угля; для других топлив принимают промежуточные значения.

При частично ошипованной поверхности предтопка отдельно вычисляются температуры пленки жидкого шлака и гладкотрубной поверхности по формуле (6-54) и затем усредняются их четвертые степени пропорционально поверхности.

В случае сжигания газа или мазута в двухкамерной топке температура наружного слоя лучевоспринимающей поверхности T_z предтопка находится по формуле (6-54) при значении ϵ , выбранном из табл. 6-3.

6-29. Приведенная степень черноты камеры (сгорания или охлаждения) двухкамерных топков a_k определяется в зависимости от эффективной способности лучевоспринимающей поверхности $a_{л.}$ и степени экранирования камеры χ по формуле

$$a_k = \frac{1}{\frac{1}{a_{л.}} + \chi \left(\frac{1}{a_{ф.}} - 1 \right)} \quad (6-58)$$

Степень экранирования χ вычисляется по формуле (6-04), а эффективная степень черноты факела $a_{ф.}$ — по п. 6-06—6-08.

6-30. Эффективная поглощательная способность гладкотрубных экранов $a_{л.}$ определяется по номограмме 9 в зависимости от физической поглощательной способности поверхности $a_{ф.л.}$, относительного шага труб s/d и конструктивного выполнения экрана.

Эффективная поглощательная способность окна в ширмовый перегреватель находится как произведение $\beta a_{л.}$; β определяется по рис. 6-4, значение $a_{л.}$ принимается таким же, как для гладкотрубных экранов.

Эффективная поглощательная способность ошипованных экранов принимается равной физической поглощательной способности расплавленной шлаковой пленки. Значение физической поглощательной способности экранов труб и шлаковой пленки приведено в табл. 6-4.

При наличии в топочной камере поверхностей с различной поглощательной способностью средневзвешенная эффективная поглощательная способность определяется

Таблица 6-4.

Поверхность нагрева	Интервал температуры t_z , °С	Физическая поглощательная способность поверхности $a_{ф.л.}$
Чистые поверхности экранов труб	200—500	0,85
Загрязненные золой поверхности экранов труб	500—1 200	0,75
Ошипованные и покрытые пленкой жидкого шлака экраны ¹	1 200—1 700	0,68

¹ Поглощательная способность $a_{л.опл}$ ошипованных, но не покрытых пленкой жидкого шлака экранов принимается также равной 0,68.

по формуле

$$a_n = \frac{\sum_{i=1}^n a_{n,i} H_{n,i}}{H_n} \quad (6-59)$$

6-31. При расчете теплообмена в циклонных предтопках необходимо учитывать тепло, переданное конвекцией. Коэффициент теплоотдачи конвекцией может быть ориентировочно определен в зависимости от форсировки предтопка по следующей эмпирической зависимости:

$$a_k = 3,4 w_v, \text{ ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}), \quad (6-60)$$

где w_v — скорость вторичного воздуха при выходе из горелок (сопл), м/сек.

Тепло, переданное конвекцией на 1 кг топлива,

$$Q_k = \frac{a_k H_n (T_\phi - T_3)}{B_{p,pp}}, \text{ ккал/кг.} \quad (6-61)$$

Температура загрязненной лучевоспринимающей поверхности в камере сгорания T_3 находится по температуре пленки жидкого шлака (п. 6-28).

6-32. При конструктивном расчете камер сгорания и охлаждения можно воспользоваться непосредственно уравнениями (6-47) и (6-48). При поверочном расчете удобно ввести безразмерные температуры $\theta_T = T''_T/T_a$ и $\theta_3 = T_3/T_a$, а также критерий Больцмана. Последний определяется по формуле

$$Bo^* = \frac{\varphi B_p V_{сер}}{4,9 \cdot 10^{-8} H_n T_a^3}. \quad (6-62)$$

Параметр, характеризующий конвективный теплообмен,

$$f = \frac{Q_k}{V_{сер} (T_a - T''_T)} \quad (6-63)$$

Безразмерная температура газов в конце камеры сгорания вычисляется по формуле.

$$\theta_T = 0,686 \left\{ \sqrt{\left[\frac{Bo^* (1-f)}{a_k} \right]^2 + 2,92 \left[\frac{Bo^* (1-f)}{a_k} + \theta_3^4 \right]} - \frac{Bo^* (1-f)}{a_k} \right\}. \quad (6-64)$$

При поверочном расчете камер охлаждения безразмерная выходная температура газов находится по номограмме 10.

Для пользования номограммой необходимо значаще вычислить вспомогательные величины $A = 0,825 Bo^*/a_k$ и $C = 0,825 \theta_3^4$.

Для определения T_3 следует по предварительно принятой температуре θ''_T вычислить количество тепла, переданное излучением в камере охлаждения Q_π ; результат после нахождения θ''_T проверяется по формуле (6-48). При расхождении величины Q_π более чем на 10% расчет необходимо повторить.

При температуре в конце камеры сгорания выше 1700°C нужно учитывать затрату тепла Q_d , связанную с диссоциацией трехатомных газов. Величина Q_d рассчитывается по формуле

$$Q_d = 3018 a_{CO_2} V_{CO_2} + 2579 a_{H_2O} V_{H_2O}, \text{ ккал/кг.} \quad (6-65)$$

где 3018 и 2579 — низшая теплота сгорания CO и H_2 , ккал/м³; V_{CO_2} и V_{H_2O} — объем углекислого газа и водяного пара, м³/м³.

Степени диссоциации углекислого газа a_{CO_2} и водяного пара a_{H_2O} определяются по табл. 6-5 и 6-6.

Вычисленная по формуле (6-64) температура в конце камеры сгорания уменьшается на

$$\Delta\theta = \frac{Q_d}{(V_{сер})''_T}, ^\circ\text{C}.$$

В правую часть балансового уравнения (6-48) подставляется величина I''_T , определенная по температуре θ''_T без поправки на тепло диссоциации.

6-33. При сбросе сушильного агента в камеру охлаждения расчет камеры сгорания производится по подсушенному топливу, что требует пересчета Q_p по формуле (2-08), объемов и энтальпий газов — по п. 4-13.

Расход топлива на предтопок

$$B_{пр.с} = \eta_k \frac{B}{Z_{пр}} \frac{100 - W_p}{100 - W_n}, \text{ кг/ч.} \quad (6-66)$$

Таблица 6-5

$\theta, ^\circ\text{C}$	r_{CO_2}									
	0,04	0,05	0,06	0,10	0,12	0,14	0,16	0,18	0,20	0,25
1700	0,038	0,033	0,030	0,028	0,026	0,025	0,024	0,023	0,022	0,020
1800	0,063	0,055	0,050	0,046	0,044	0,042	0,040	0,038	0,037	0,035
1900	0,101	0,089	0,081	0,076	0,072	0,068	0,065	0,063	0,061	0,056
2000	0,165	0,146	0,134	0,125	0,118	0,112	0,108	0,104	0,100	0,094
2100	0,239	0,213	0,196	0,183	0,173	0,166	0,159	0,153	0,149	0,139
2200	0,351	0,315	0,292	0,275	0,261	0,250	0,241	0,233	0,226	0,212

Таблица 6-6

$\theta, ^\circ\text{C}$	r_{H_2O}									
	0,04	0,05	0,06	0,10	0,12	0,14	0,16	0,18	0,20	0,25
1700	0,014	0,013	0,012	0,011	0,010	0,009	0,009	0,008	0,008	0,008
1800	0,024	0,021	0,019	0,018	0,017	0,016	0,015	0,015	0,015	0,014
1900	0,040	0,036	0,032	0,030	0,028	0,027	0,026	0,025	0,025	0,024
2000	0,057	0,050	0,046	0,043	0,040	0,038	0,035	0,035	0,035	0,034
2100	0,085	0,075	0,068	0,063	0,060	0,057	0,054	0,052	0,052	0,051
2200	0,123	0,103	0,099	0,093	0,088	0,079	0,076	0,076	0,076	0,074

где η_d — к. п. д. пылевых циклонов; принимается по данным «Норм расчета и проектирования пылеприготовительных установок»;

$Z_{пр}$ — число работающих предтопок;

W_p и $W_{п}$ — влажность сырого топлива и пыли; $W_{п}$ принимается из расчета пылеприготовления.

Полезное тепловыделение в предтопке определяется по п. 6-26, все величины подсчитываются на 1 кг подсушенного топлива.

Температура топлива $t_{тл}$ при определении $Q_{пр}$ принимается для пыли АШ равной 95°C , для прочих топлив — 75°C .

Коэффициент избытка воздуха в предтопке

$$\alpha_{пр} = \alpha \frac{100}{100 - q_{4пр}},$$

где α_t — коэффициент избытка воздуха в горелках (по поданному топливу), определяемый по п. 4-14.

6-34. Количество тепла, переданное в шлакоулавливающем пучке, расположенном между камерами сгорания и охлаждения, рассчитывается по формуле

$$Q_{ш.п} = \frac{(\alpha_k + \alpha_{ш}) H (\theta_{ср} - t_{пл})}{B_{р.пр}}, \text{ ккал/кг, (6-67)}$$

где α_k — коэффициент теплоотдачи конвекцией, $\text{ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C})$; находится по п. 7-21;

$\alpha_{ш}$ — коэффициент теплоотдачи излучением, $\text{ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C})$; определяется по п. 7-32; коэффициент ослабления лучей вычисляется по формуле (6-12);

H — поверхность нагрева пучка, рассчитывается по наружному диаметру футерованных труб и суммируется с площадью плоских участков стен, пода и потолка в районе пучка;

$t_{пл}$ — температура поверхности пленки жидкого шлака, $^\circ\text{C}$; принимается на 100°C ниже температуры пленки в предтопке (п. 6-28);

$\theta_{ср}$ — средняя температура газов, $^\circ\text{C}$.

При сбросе сушильного агента в камеру охлаждения расчет шлакоулавливающего пучка производится по подсушенному топливу, что следует учитывать при определении расхода последнего, объемов и энтальпий газов (п. 6-33).

6-35. При сжигании смеси топлив в двухкамерной топке тепловое сопротивление загрязняющего слоя ϵ находится как средневзвешенное по долям каждого из топлив q_i в суммарном тепловыделении:

$$\epsilon = q' \epsilon' + (1 - q') \epsilon'', (\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C})/\text{ккал. (6-68)}$$

Температура пленки $t_{пл}$ в камере сгорания при сжигании смеси твердого топлива с жидким (газообразным) определяется по п. 6-28 (для твердого топлива).

6-Д. ПОЗОННЫЙ ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ ТОПОЧНОЙ КАМЕРЫ

6-36. В основу позонного метода расчета температуры газов по высоте топки положено уравнение энергии, которое для установившегося состояния определяет связь между тепловыделением и теплообменом в отдельных зонах топочной камеры. Применительно к объемам ограниченного размера уравнение записывается в алгебраической форме, удобной для расчетов.

Температура газов в каждой из зон рассчитывается, исходя из тепловыделения в зоне, изменения энтальпии продуктов сгорания и теплоотвода из зоны.

Позонный метод расчета применяется для определения локальных тепловых нагрузок по высоте топки и рекомендуется для всех топочных устройств — однокамерных, полукотельных и камер охлаждения двухкамерных топок.

6-37. Для расчета распределения тепловых нагрузок по высоте топки последняя условно разбивается на несколько зон и температура газов определяется на выходе каждой из них. Предварительно рассчитывается топочная камера в целом и находится температура газов на выходе из нее.

Если при позонном расчете температура газов на выходе из топки (последней зоны) будет отличаться от определенной по формуле (6-30) более чем на $\pm 30^\circ$, то следует задаться другим распределением тепловыделений по ходу факела и вычисления повторить. При расчете топки с ширмами допускается расхождение до 50°C .

Объем топочной камеры разбивается на зоны, исходя из следующих соображений.

Зону расположения горелок, характеризующуюся максимальным тепловыделением, целесообразно рассчитывать как одно целое. Для топок с жидким шлакоудалением за ее границу принимается горизонтальная плоскость между ошипованными и гладкотрубными экранами, а в топках с пережимом — сечение последнего.

Для топок с твердым шлакоудалением за нижнюю границу зоны максимального тепловыделения принимается верхняя плоскость холодной воронки (если последняя находится на расстоянии не более 2 м от нижних образующих амбразур); за верхнюю границу принимается сечение, расположенное на 1,5 м выше верхних образующих амбразур верхнего яруса горелок. Тепловосприятие холодной воронки равно количеству тепла, прошедшему через сечение топочной камеры, ограничивающее зону максимального тепловыделения.

Для газомазутных топок в качестве зоны максимального тепловыделения принимается нижняя часть топки — от подового экрана до сечения, расположенного на 1,5 м выше верхних образующих амбразур верхнего яруса горелок.

Остальную часть топочной камеры можно разбить на 3—6 приблизительно равных участков по высоте топки, каждый размером около 4 м.

6-38. Температура газов на выходе из зоны максимального тепловыделения рассчитывается методом последовательных приближений по уравнению:

$$\theta'' = \frac{\frac{100}{100 - q_4} \beta_{сг} Q_{пр} + Q_{ш} + i_{тл} + r l_{г.отб} - Q_{шл}}{V c''} - \frac{4,9 \cdot 10^{-8} a_{т} T''^4}{B_p V c''} \psi F, ^\circ\text{C, (6-69)}$$

где $\beta_{сг}$ — степень выгорания, характеризующая долю топлива, сгоревшего в рассматриваемой зоне, выбирается по табл. XXII;

$Q_{ш}$ и $r l_{г.отб}$ — количества тепла, вводимые в топку с воздухом и газами рециркуляции, ккал/кг (см. п. 6-17);

$Q_{шл}$ — потери тепла с удаляемым из зоны шлаком, ккал/кг (см. п. 5-11);

$V c''$ — средняя суммарная теплоемкость продуктов сгорания 1 кг топлива, $\text{ккал}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$, при θ'' и α_t ;

ψF — произведение коэффициента эффективности на суммарную поверхность, ограничивающую зону;

$$\psi F = F_{ст} \psi_{ср} + \psi' F_{с1} + \psi'' F_{с2}, \quad (6-70)$$

$F_{ст}$ — поверхность стен зоны, м^2 ;

$\psi_{ср}$ — средний коэффициент тепловой эффективности стен зоны, рассчитываемый по формуле (6-40);

$F_{с1}$ и $F_{с2}$ — сечения топочной камеры, ограничивающие зону сверху и снизу, $м^2$;

ψ' — коэффициент, характеризующий отдачу тепла излучением в вышерасположенную зону, принимается равным 0,1 — для пылеугольных топок с твердым шлакоудалением и топок, работающих на газе, 0,2 — для топок с жидким шлакоудалением, а также работающих на мазуте;

ψ'' — коэффициент, характеризующий отдачу тепла излучением в сторону пода топки или холодной воронки, принимается равным коэффициенту $\psi_{ср}$;

a_T — степень черноты топки в зоне максимального тепловыделения, определяется по п. 6-19.

6-39. Температура газов на выходе из зон, расположенных выше зоны максимального тепловыделения, рассчитывается методом последовательных приближений по уравнению:

$$\vartheta'' = \frac{\Delta\beta_{сг} Q_p}{V c''} + \frac{c'}{c''} \vartheta' - \left[1 + \left(\frac{T''}{T'} \right)^4 \right] \times \\ \times \frac{4,9 \cdot 10^{-8} a_T T'^4 [F_{с.ср} (\psi'' - \psi') + \psi_{ср} F_{ст}]}{2 B_p V c''}, \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (6-71)$$

где $\Delta\beta_{сг} = \beta''_{сг} - \beta'_{сг}$ — доля выгорания топлива в зоне, определяется по табл. XXII;

ϑ' и T' ; ϑ'' и T'' — температуры газов на входе и выходе — из рассматриваемой зоны, $^\circ\text{C}$ и K ;

c' и c'' — средние значения теплоемкости газов при температурах ϑ' и ϑ'' , $\text{ккал}/(\text{кг} \times ^\circ\text{C})$;

$F_{ст}$ — поверхность стен рассматриваемой зоны, $м^2$; для последней зоны в $F_{ст}$ включают площадь окна в выходном сечении топки $F_{ок}$. Для зоны с ширмами в величину $F_{ст}$ включают поверхность ширм $F_{ш}$; $F_{ст}$ определяют без учета коэффициентов неравномерности освещенности Z ;

$\psi_{ср}$ — средний коэффициент тепловой эффективности стен зоны, рассчитываемый по формуле (6-40); значения коэффициентов загрязнения открытых гладкотрубных настенных экранов, указанные в табл. 6-2, для нижней $1/3$ высоты топки следует увеличить, а для верхней $1/3$ — уменьшить на 10%; для последней зоны величина $\psi_{ср}$ определяется по формуле (6-40) с учетом площади выходного окна $F_{ок}$; коэффициент $\psi_{ок}$ принимается равным $\psi\beta$, где ψ — коэффициент тепловой эффективности для настенных экранов в данной зоне, а β принимается по рис. 6-4.

$F_{с.ср} = \frac{F'_{с1} + F'_{с2}}{2}$ — средняя площадь сечения топочной камеры в зоне, $м^2$;

ψ' — коэффициент, характеризующий передачу тепла излучением из нижерасположенной зоны;

ψ'' — то же в вышерасположенную зону.

Разность $(\psi'' - \psi')$ зависит от градиентов температуры и соотношения степеней черноты. Для зоны, следующей за зоной максимального тепловыделения,

в пылеугольных топках с твердым шлакоудалением и топках на газе, $\psi'' - \psi' = 0$; для открытых и полуоткрытых (с пережимом) топок с жидким шлакоудалением, а также для камерных топок, работающих на мазуте, эта разность равна $-0,1$; для последующих зон $\psi'' - \psi' = -0,05$; для последней зоны, ограниченной потолком камеры или ширмами, $\psi'' - \psi' = 0$. В случае, если верхняя граница последней зоны расположена на уровне середины выходного окна топки, $\psi'' - \psi' = -0,05$.

При вводе рециркулирующих газов в верхнюю часть топки в качестве последней следует принимать зону, находящуюся выше места ввода газов, и температуру газов на входе в нее определять по уравнению смешения.

6-40. В топках с жидким шлакоудалением, в которых шлакоулавливающий пучок расположен на выходе из зоны максимального тепловыделения, зона, находящаяся за ним, будет отдавать тепло как в следующую за ней зону, так и в сторону шлакоулавливающего пучка. В этом случае величина сечения $F'_{с}$ войдет в поверхность стен данной зоны F , а через открытое сечение $F''_{с}$ будет передаваться излучением в вышерасположенную зону количество тепла, пропорциональное величине $\psi'' F''_{с}$. При этом коэффициент эффективности ψ'' при сжигании всех топлив принимается равным 0,2.

Температуру газов в конце зоны, включающей ширмы, следует рассчитывать по формуле

$$\vartheta'' = \frac{2\Delta\beta_{сг} B_p Q_p}{2 B_p V c'' + \alpha_k F_k} + \vartheta' \left[\frac{2 B_p V c' - \alpha_k F_k}{2 B_p V c'' + \alpha_k F_k} \right] + \\ + t_3 \frac{2 \alpha_k F_k}{2 B_p V c'' + \alpha_k F_k} - \left[1 + \left(\frac{T''}{T'} \right)^4 \right] \frac{\sigma_0 a_T T'^4}{2 B_p V c'' + \alpha_k F_k} \psi F_{ст}, \text{ } ^\circ\text{C}. \quad (6-72)$$

Здесь $\psi F_{ст}$ — произведение коэффициента эффективности, рассчитываемого по п. 6-20, на поверхность стен экранов и ширм, расположенных в зоне;

F_k — поверхность нагрева экранов и ширм, воспринимаящая тепло конвекцией; рассчитывается по данным гл. 7;

α_k — коэффициент теплоотдачи конвекцией от газов к стенке, рассчитывается по данным гл. 7;

$t_3 = T_3 - 273$ — температура слоя загрязнения на трубах; величина T_3 определяется по формуле

$$T_3 = T_{ср} \sqrt[4]{a_T \left(1 - \frac{\phi}{a_T} \right)}, \text{ } \text{K}.$$

Значения степени черноты загрязненной поверхности a_T принимаются по данным табл. 6-4 и номограмме 9; $T_{ср}$ — средняя температура газов в зоне:

$$T_{ср} = 0,5(T'^4 + T''^4), \text{ } \text{K}.$$

Для обычных (нефорсированных) топок теплоотдача конвекцией не учитывается и расчет зоны, включающей ширмы, ведется по п. 6-39.

6-41. После расчета температуры газов на входе и выходе каждой зоны тепловая нагрузка ее радиационных поверхностей находится по формуле

$$q_{л} = 4,9 \cdot 10^{-8} \psi a_T T_{ср}^4, \text{ } \text{ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч}), \quad (6-73)$$

где ψ — коэффициент эффективности радиационных поверхностей зоны.

В случае, если в зоне имеются участки с разным коэффициентом тепловой эффективности, для каждого из них определяется $q_{л}$ по формуле (6-73).

Для зоны максимального тепловыделения вместо $T_{ср}$ подставляется выходная температура из зоны T'' .

Если сумма тепловосприятий зон отличается от суммарного тепловосприятия топочной камеры, вычисленного с помощью формулы (6-35), то невязка распределяется между зонами.

По средним значениям q_n каждой зоны можно построить зависимость тепловой нагрузки от высоты топочной камеры h , из которой находят значения q_n для любого сечения по высоте.

6-42. В случае, если позонный расчет не производится, тепловая нагрузка отдельных зон по высоте топочных камер определяется по формуле

$$q_n = \eta_n \frac{B_p Q_n}{F_{ст}}, \text{ ккал/(м}^2 \cdot \text{ч)}; \quad (6-74)$$

для ширм в выходном окне $q_{л.ш} = \beta q_n$, где β принимается по рис. 6-4.

Значения коэффициента распределения тепловой нагрузки по высоте топки η_n в зависимости от относительной высоты h/H_T приведены в номограмме 11.

Максимальные значения η_n зависят от расположения горелок, а в топках с жидким шлакоудалением — от расположения ошипованных экранов.

При относительном уровне расположения горелок или ошипованного экрана h/H_T , отличающемся от указанных на номограмме 11, следует соответственно переместить расположение максимума η_n .

Приведенные на номограмме 11 зависимости ориентировочные; отклонения от них в обе стороны могут составлять до 20%.

Кривую распределения значений η_n для топки следует проводить таким образом, чтобы сумма тепловосприятий отдельных зон совпала с суммарным тепловосприятием всей топочной камеры.

6-43. Значения коэффициента неравномерности тепловосприятия по стенам топки приведены в приложении IV.

ГЛАВА СЕДЬМАЯ

РАСЧЕТ КОНВЕКТИВНЫХ И ШИРМОВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ НАГРЕВА

7-А. ОСНОВНЫЕ УРАВНЕНИЯ

Для расчета конвективных и ширмовых поверхностей нагрева используются два уравнения.

7-01. Уравнение теплообмена

$$Q = \frac{kH\Delta t}{B_p}, \text{ ккал/кг}, \quad (7-01)$$

где Q — тепло, воспринятое рассчитываемой поверхностью конвекцией и излучением, отнесенное к 1 кг (м^3) топлива, ккал/кг;

k — коэффициент теплопередачи, отнесенный к расчетной поверхности нагрева, ккал/($\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}$);

Δt — температурный напор, $^\circ\text{C}$;

B_p — расчетный расход топлива, кг/ч;

H — расчетная поверхность нагрева, м^2 .

В конвективных пучках расчетная поверхность нагрева принимается равной полной поверхности труб с наружной (газовой) стороны. Расчетная поверхность нагрева ширмовых перегревателей принимается равной удвоенной площади плоских поверхностей, проходящих через оси труб ширм и ограниченных наружными образующими крайних труб, умноженной на угловой коэффициент χ (определяемый по кривой 5 номограммы 1а).

Ширмовые поверхности, расположенные между топкой и конвективными пучками, отличаются от коридорных пучков величиной относительных шагов — продольного σ_1 и поперечного σ_2 ; при $\sigma_2 \leq 1,5$ и $\sigma_1 > 4$ поверхность нагрева рассчитывается как ширмовая.

Поверхность нагрева рекуперативного воздухоподогревателя (трубчатого, пластинчатого) находится как средняя по газовой и воздушной сторонам.

Поверхность нагрева регенеративного воздухоподогревателя определяется как двусторонняя поверхность всех пластин набивки.

7-02. В уравнении теплового баланса тепло, отданное дымовыми газами, приравнивается к теплу, воспринятому паром, водой или воздухом.

Тепло, отданное газами,

$$Q = \varphi (I' - I'' + \Delta \alpha I^0_{прс}), \text{ ккал/кг}, \quad (7-02)$$

где φ — коэффициент сохранения тепла, учитывающий его потери в окружающую среду; определяется по формуле (5-11);

I' и I'' — энтальпии газов на входе в поверхность нагрева и выходе из нее, ккал/кг;

$\Delta \alpha I^0_{прс}$ — количество тепла, вносимого присасываемым воздухом, ккал/кг;

$I^0_{прс}$ определяется по I-й таблице. Для всех газоподогревателей, кроме воздухоподогревателя, $I^0_{прс}$ находится по температуре холодного воздуха $t_{х.в.}$.

Для воздухоподогревателей $I^0_{прс}$ вычисляется по средней температуре воздуха $t = \frac{t'_{вп} + t''_{вп}}{2}$; при рас-

чете регенеративного воздухоподогревателя по частям присос распределяется поровну между холодной и горячей зонами. Для первой $I^0_{прс}$ определяется по температуре холодного воздуха, для второй — по температуре горячего.

7-03. Тепло, воспринятое обогреваемой средой вследствие охлаждения газов, рассчитывается по следующим формулам.

Для ширмового и конвективного перегревателя:

$$Q = \frac{D}{B_p} (i'' - i') - Q_n, \text{ ккал/кг} \quad (7-03)$$

(здесь из величины тепловосприятия вычтено тепло, полученное излучением из топки Q_n).

Для перегревателя, экономайзера и переходной зоны прямооточного котла, расположенных в конвективном газоходе:

$$Q = \frac{D}{B_p} (i'' - i'), \text{ ккал/кг}, \quad (7-04)$$

где D — расход пара (воды) через рассчитываемую поверхность, кг/ч;

i'' и i' — энтальпии пара (воды) на выходе из поверхности нагрева и входе в нее, ккал/кг.

Перепад энтальпий пара в перегревателе следует принимать с учетом тепловосприятия пароохладителя (подробнее — см. п. 8-26).

При расчете котельных пучков с постоянной температурой внутренней среды уравнение тепловосдачи и обогреваемой среды не составляется.

Для воздухоподогревателя

$$Q = \left(\beta''_{\text{вп}} + \frac{\Delta\alpha_{\text{вп}}}{2} + \beta_{\text{рц}} \right) (I''_{\text{вп}} - I'_{\text{вп}}), \text{ ккал/кг}, \quad (7-05)$$

где $\beta''_{\text{вп}}$ — отношение количества воздуха за воздухоподогревателем к теоретически необходимому;
 $\beta_{\text{рц}}$ — доля рециркулирующего воздуха в воздухоподогревателе;
 $I''_{\text{вп}}$ и $I'_{\text{вп}}$ — энтальпии воздуха, теоретически необходимого для сгорания, при температуре на выходе из воздухоподогревателя и входе в него, ккал/кг;
 $\Delta\alpha_{\text{вп}}$ — присос воздуха в воздухоподогреватель, принимаемый равным утечке с воздушной стороны.

Если через воздухоподогреватель проходит часть подогретого воздуха (при наличии шунта), в формулу (7-05) подставляется значение $\beta''_{\text{вп}}$ за вычетом части воздуха, идущего через шунт. При шунтировании воздухоподогревателя по воздуху или газу величина присоса $\Delta\alpha_{\text{вп}}$ сохраняется неизменной.

7-04. Тепло, получаемое излучением из топки конвективными поверхностями нагрева, определяется при расчете топки.

При расчете ширмового перегревателя в уравнении (7-03) величина $Q_{\text{л}}$ учитывает взаимный теплообмен между топкой, ступенями ширм и поверхностью нагрева за ширмами и находится по формуле

$$Q_{\text{л}} = Q_{\text{л.вх}} - Q_{\text{л.вых}}, \text{ ккал/кг}, \quad (7-06)$$

где $Q_{\text{л.вх}} = \frac{q_{\text{л.ш}} H_{\text{л.вх}}}{B_{\text{р}}}$ — лучистое тепло, воспринятое площадью входного сечения ширм (выходного сечения топки);

$q_{\text{л.ш}}$ — тепловая нагрузка ширм в выходном окне топки, ккал/(м²·ч); определяется по п. 6-41 или 6-42;

$H_{\text{л.вх}}$ — лучевоспринимающая поверхность входного сечения ширм в топке (см. рис. 7-1);

$Q_{\text{л.вых}}$ — тепло излучения из топки и ширм на поверхность нагрева, расположенную за ширмами, а в случае ее отсутствия — на поверхности, экранирующие газовый объем за ширмами. Его величина рассчитывается по формуле

$$Q_{\text{л.вых}} = \frac{Q_{\text{л.вх}} (1 - a) \varphi_{\text{ш}}}{\beta} + \frac{4,9 \cdot 10^{-8} a' H_{\text{л.вых}} T_{\text{ср}}^4 \xi_{\text{п}}}{B_{\text{р}}}, \text{ ккал/кг}, \quad (7-07)$$

a — степень черноты газов в ширмах, определяемая при средней температуре газов по пп. 7-32—7-35;

β — коэффициент, определенный по рис. 6-4;

$\xi_{\text{п}}$ — поправочный коэффициент, зависящий от рода топлива: для углей и жидкого топлива $\xi_{\text{п}} = 0,5$, для сланцев — 0,2, для природного газа — 0,7;

$H_{\text{л.вых}}$ — лучевоспринимающая поверхность нагрева пучка, находящегося за ширмами (рис. 7-1);

$\varphi_{\text{ш}}$ — угловой коэффициент с входного на выходное сечение ширм:

$$\varphi_{\text{ш}} = \sqrt{\left(\frac{l}{s_1} \right)^2 + 1} - \frac{l}{s_1}, \quad (7-08)$$

Разнос — поперечный шаг ширм;
 туры и соотношения ширмы по ходу газов, м;
 дующей за ширмами температура газов в ширмах, К.

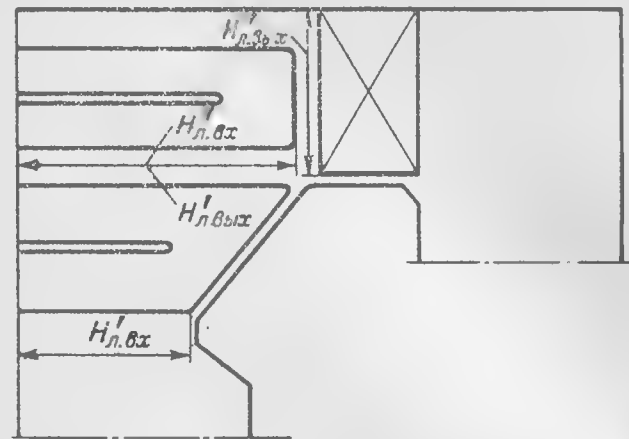


Рис. 7-1. К определению лучевоспринимающей поверхности на входе и выходе из ступеней ширмового перегревателя.

При последовательном расположении нескольких ступеней ширм величина $Q_{\text{л}}$ для второй, третьей и т. д. ступеней определяется по формуле, аналогичной (7-06):

$$Q'_{\text{л}} = Q'_{\text{л.вх}} - Q'_{\text{л.вых}}, \text{ ккал/кг}, \quad (7-06a)$$

где $Q'_{\text{л.вх}}$ — тепло, полученное излучением от первой ступени ширм, вычисленное по формуле (7-07);

$$Q'_{\text{л.вых}} = Q'_{\text{л.вх}} (1 - a') \varphi_{\text{ш}} + \frac{4,9 \cdot 10^{-8} a' H'_{\text{л.вых}} T_{\text{ср}}^4 \xi'_{\text{п}}}{B_{\text{р}}}, \text{ ккал/кг}. \quad (7-07a)$$

Обозначения величин в формуле (7-07a) те же, что и в (7-07).

7-05. Если рассчитываемая поверхность нагрева омывается неполным количеством продуктов сгорания (параллельное включение нескольких элементов, газовое регулирование перегрева, обходные газоподводы при отсутствии плотных шиберов и т. п.), уравнение (7-02) заменяется следующим:

$$Q = \varphi (I' - I'' + \Delta\alpha I''_{\text{прс}}) g_{\text{п}}, \text{ ккал/кг}, \quad (7-09)$$

где $g_{\text{п}}$ — массовая доля газов, проходящих через шунтируемый пучок.

При параллельном включении нескольких элементов или открытых обходных боров $g_{\text{п}}$ определяется с учетом соотношения сопротивлений параллельных газоподводов.

При двойных (плотных) закрытых отключающих шиберов в обходных боров $g_{\text{п}}$ принимается равной 0,95, при одинарных — 0,9.

После расчета поверхности нагрева определяются энтальпия и температура смеси основного газового потока с частью, прошедшей помимо данного участка.

Уравнение смешения:

$$I_{\text{см}} = I' (1 - g_{\text{п}}) + I'' g_{\text{п}}, \text{ ккал/кг}. \quad (7-10)$$

7-Б. КОЭФФИЦИЕНТ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ

а) Основные положения

7-06. Коэффициент теплопередачи для многослойной плоской стенки выражается формулой:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_m}{\lambda_m} + \frac{\delta_n}{\lambda_n} + \frac{1}{\alpha_2}}, \text{ ккал/(м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C)}, \quad (7-11)$$

где α_1 и α_2 — коэффициенты теплоотдачи от греющей среды к стенке и от стенки к обогреваемой среде, $\text{ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C})$;

δ_m и λ_m — толщина и коэффициент теплопроводности металлической стенки трубы, м и $\text{ккал}/(\text{м} \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C})$;

δ_3 и λ_3 — толщина и коэффициент теплопроводности слоя золы или сажи на наружной поверхности трубы, м и $\text{ккал}/(\text{м} \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C})$;

$\delta_3/\lambda_3 = \varepsilon$ — тепловое сопротивление загрязняющего слоя, называемое коэффициентом загрязнения, $(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C})/\text{ккал}$;

δ_n и λ_n — толщина и коэффициент теплопроводности слоя накипи на внутренней поверхности труб, м и $\text{ккал}/(\text{м} \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C})$.

Если одна или обе теплообменивающиеся среды представляют собой дымовой газ или воздух, то термическое сопротивление на газовой и воздушной сторонах ($1/\alpha_1$ и $1/\alpha_2$) будет значительно больше термического сопротивления металла труб; последним в этом случае пренебрегают ($\delta_m/\lambda_m = 0$). При расчете паропаровых теплообменников термическое сопротивление металла труб учитывается.

При нормальной эксплуатации отложения накипи не должны достигать толщины, вызывающей существенное повышение термического сопротивления и рост температуры стенки трубы, поэтому в тепловом расчете оно не учитывается ($\delta_n/\lambda_n = 0$).

Коэффициент загрязнения ε зависит от большого количества факторов: рода топлива, скорости газа, диаметра труб, их расположения, крупности золы и др. Из-за отсутствия в ряде случаев этих данных применяются два метода оценки загрязнения: с помощью коэффициента загрязнения ε и коэффициента эффективности ψ , представляющего собой отношение коэффициентов теплопередачи загрязненных и чистых труб.

Значения коэффициентов загрязнения ε и эффективности ψ приведены в §7-Б, д.

7-07. Коэффициент теплоотдачи от газов к стенке для конвективных пучков:

$$\alpha_1 = \xi (\alpha_k + \alpha_n), \text{ ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}), \quad (7-12)$$

где ξ — коэффициент использования, учитывающий уменьшение тепловосприятия поверхности нагрева вследствие неравномерного омывания ее газами, частичного перетекания газов помимо нее и образования застойных зон. Для поперечно омываемых пучков труб современных котельных агрегатов коэффициент ξ принимается равным единице; для ширм, а также сложно омываемых пучков величина ξ приведена в § 7-Б, д;

α_k — коэффициент теплоотдачи конвекцией, определяемый по § 7-Б, б, $\text{ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C})$;

α_n — коэффициент теплоотдачи излучением, определяемый по § 7-Б, в, $\text{ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C})$.

7-08. Величина α_2 определяется по § 7-Б, б. В расчетах экономайзеров и испарительных поверхностей, а также перегревателей котлов сверхкритического давления тепловым сопротивлением с внутренней стороны пренебрегают, так как $1/\alpha_2 \ll 1/\alpha_1$.

7-09. Коэффициент теплопередачи для ширмовой поверхности нагрева определяется по формуле

$$k = \frac{\alpha_1}{1 + \left(1 + \frac{Q_n}{Q}\right) \left(\varepsilon + \frac{1}{\alpha_2}\right) \alpha_1}, \text{ ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}). \quad (7-13)$$

Множитель $\left(1 + \frac{Q_n}{Q}\right)$ учитывает тепло, воспринятое из топki поверхностью ширм.

Коэффициент теплоотдачи по газовой стороне, отнесенный к расчетной поверхности ширм H , определяется по выражению

$$\alpha_1 = \xi \left(\alpha_k \frac{\pi d}{2s_2 x} + \alpha_n \right), \text{ ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}), \quad (7-14)$$

где α_k — коэффициент теплоотдачи конвекцией, отнесенный к полной поверхности труб ширм, вычисляемый по формуле (7-33) или номограмме 12;

ε — коэффициент загрязнения, $(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C})/\text{ккал}$;

x — угловой коэффициент ширм, определяемый по кривой 5 номограммы 1, а;

Q — тепло, передаваемое ширмам конвекцией и межтрубным излучением газов, $\text{ккал}/\text{кг}$; находится по уравнению (7-01) или (7-02);

Q_n — тепло, передаваемое ширмам излучением из топki (с учетом отдачи последующей поверхности), определяется по выражению (7-06).

7-10. Расчет коэффициента теплопередачи в шахматных трубных пучках при сжигании твердых топлив производится при помощи коэффициентов загрязнения по формулам:

для перегревателей:

$$k = \frac{\alpha_1}{1 + \left(\varepsilon + \frac{1}{\alpha_2}\right) \alpha_1}, \text{ ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}), \quad (7-15a)$$

для экономайзеров, переходных зон прямоточных котлоагрегатов и испарительных поверхностей, а также перегревателей при сверхкритическом давлении:

$$k = \frac{\alpha_1}{1 + \varepsilon \alpha_1}, \text{ ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}). \quad (7-15b)$$

7-11. Коэффициент теплопередачи гладкотрубных (шахматных и коридорных) пучков при сжигании газа и мазута, а также коридорных пучков при сжигании твердых топлив рассчитывается при помощи коэффициента тепловой эффективности ψ :

для перегревателей:

$$k = \frac{\psi \alpha_1}{1 + \frac{\alpha_1}{\alpha_2}}, \text{ ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}); \quad (7-16)$$

для экономайзеров, переходных зон прямоточных котлов, испарительных поверхностей и перегревателей сверхкритического давления:

$$k = \psi \alpha_1, \text{ ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}). \quad (7-17)$$

Коэффициент теплопередачи пучков котлов малой мощности и фестонов котлов большой мощности при сжигании твердых топлив также рассчитывается по формуле (7-17).

7-12. При смешанном поперечно-продольном омывании гладкотрубных пучков коэффициенты теплопередачи определяются отдельно для поперечно и продольно омываемых участков по средним скоростям газов для каждого из них. Продольно омываемая часть рассчитывается с помощью коэффициента тепловой эффективности. Коэффициенты теплопередачи усредняются по формуле

$$k = \frac{k_{\text{поп}} H_{\text{поп}} + k_{\text{пр}} H_{\text{пр}}}{H_{\text{поп}} + H_{\text{пр}}}, \text{ ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}). \quad (7-18)$$

7-13. Трубчатые и пластинчатые воздухоподогреватели рассчитываются при помощи коэффициента использования ξ , учитывающего совместное влияние загрязнения труб, неполноты омывания поверхности газами и воздухом и перетоков воздуха в трубных решетках. Ко-

эффект теплопередачи воздухоподогревателей определяется по формуле

$$k = \xi \frac{\alpha_1 \alpha_2}{\alpha_1 + \alpha_2}, \text{ ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{С}). \quad (7-19)$$

7-14. Коэффициент теплопередачи пластинчатой набивки вращающегося регенеративного воздухоподогревателя, отнесенный к полной двусторонней поверхности нагрева пластин, определяется по формуле

$$k = \frac{\xi \pi}{\frac{1}{x_1 \alpha_1} + \frac{1}{x_2 \alpha_2}}, \text{ ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{С}), \quad (7-20)$$

где $x_1 = H_r/H = F_r/F$ — отношение поверхности нагрева или живого сечения, омываемых газами (без учета поверхности и сечения под плитами радиальных уплотнений), к полной поверхности или сечению воздухоподогревателя;

$x_2 = H_v/H = F_v/F$ — доля поверхности нагрева или сечения, омываемых воздухом (без учета поверхности и сечения под плитами радиальных уплотнений);

α_1 и α_2 — коэффициенты теплоотдачи от газов к стенке и от стенки к воздуху, определяемые по § 7-Б,б, ккал/(м² · ч · °С);

π — коэффициент, учитывающий влияние нестационарности теплообмена.

Для регенеративных воздухоподогревателей с пластинчатой набивкой и толщиной листов $\delta = 0,6 \div 1,2$ мм коэффициент π в зависимости от скорости вращения ротора составляет:

n , об/мин	0,5	1,0	$\geq 1,5$
π	0,85	0,97	1,0

Методика расчета коэффициента теплопередачи ребристых поверхностей нагрева приведена в § 7-Б,г.

б) Коэффициент теплоотдачи конвекцией

7-15. Коэффициент теплоотдачи конвекцией зависит от скорости и температуры потока, определяющего линейного размера, расположения труб в пучке, вида поверхности (гладкая или ребристая) и характера ее омывания (продольное, поперечное или косое), физических свойств омывающей среды и (в отдельных случаях) от температуры стенки.

7-16. Расчетная скорость дымовых газов находится по формуле

$$w_r = \frac{B_p V_r (\vartheta + 273)}{3600 F \cdot 273}, \text{ м/сек}, \quad (7-21)^*$$

где F — площадь живого сечения, м²;

B_p — расчетный расход топлива, кг/ч;

V_r — объем газов на 1 кг топлива при 760 мм рт.ст. и 0°С, определяемый по среднему избытку воздуха в газоходе, м³/кг.

При пропуске через рассчитываемый газоход только части газов g_u правая часть формулы (7-21) умножается на g_u .

* Формула (7-21) применяется и для котлов с наддувом ($p \leq 1,05$ кгс/см²). Для высоконапорных парогенераторов знаменатель умножается на абсолютное давление p , кгс/см².

Расчетная скорость воздуха

$$w_a = \frac{B_{p_{\text{вп}}} V^0 (t + 273)}{3600 F \cdot 273}, \text{ м/сек}, \quad (7-22)$$

где V^0 — теоретически необходимое для сгорания количество воздуха при 760 мм рт.ст. и 0°С.

Коэффициент

$$\beta_{\text{вп}} = \beta''_{\text{вп}} + \Delta \alpha_{\text{вп}}/2 + \beta_{\text{рц}}. \quad (7-23)$$

Обозначения величин $\beta''_{\text{вп}}$, $\Delta \alpha_{\text{вп}}$ и $\beta_{\text{рц}}$ приняты согласно п. 7-03.

Для водяного пара и воды

$$w_{\text{п}} = \frac{D v_{\text{ср}}}{3600 f}, \text{ м/сек}, \quad (7-24)$$

где D — расход пара (воды), кг/ч;

$v_{\text{ср}}$ — средний удельный объем пара (воды), м³/кг;

f — площадь живого сечения для прохода пара (воды), м².

7-17. Площадь живого сечения для прохода газов и воздуха в газоходах, заполненных поперечно и косо обтекаемыми гладкими и ребристыми трубами, рассчитывается по сечению, проходящему через оси поперечного ряда труб, как разность между полной площадью поперечного сечения газохода в свету и частью этой площади, занятой трубами и ребрами. В указанном сечении площадь для прохода газов получается наименьшей по сравнению с любым другим параллельным сечением. Принцип минимального проходного сечения принимается и в других случаях определения скорости.

Ниже приведены формулы для определения расчетного живого сечения поверхностей нагрева различных типов.

Для поперечно омываемых гладкотрубных пучков:

$$F = ab - z_1 l d, \text{ м}^2, \quad (7-25)$$

где a и b — размеры газохода в расчетном сечении, м;

z_1 — число труб в ряду;

d и l — диаметр и длина труб, м; при изогнутых трубах за l принимается проекция труб (рис. 7-2).

При продольном омывании:

при течении среды внутри труб:

$$F = z \frac{\pi d_{\text{вн}}^2}{4}, \text{ м}^2. \quad (7-26)$$

Здесь z — число параллельно включенных труб;

$d_{\text{вн}}$ — внутренний диаметр труб, м;

при течении среды между трубами

$$F = ab - z \frac{\pi d^2}{4}, \text{ м}^2. \quad (7-27)$$

где z — число труб в пучке

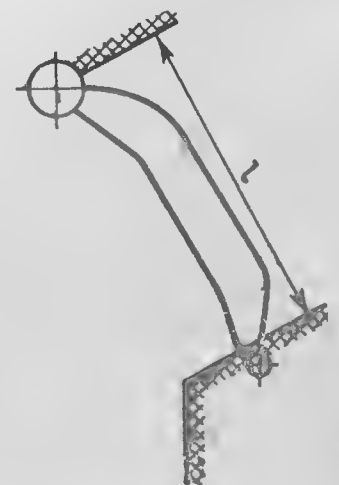


Рис. 7-2. К определению сечения газохода.

Для пучков труб с поперечными ребрами:

$$F = \left[1 - \frac{1}{s_1/d} \left(1 + 2 \frac{h_{pb} \delta_{pb}}{s_{pb} d} \right) \right] ab, \text{ м}^2, \quad (7-28)$$

где s_1 — поперечный шаг труб, м;
 d — диаметр несущей трубы, м;
 h_{pb} и δ_{pb} — высота и средняя толщина ребра, м;
 s_{pb} — шаг ребер, м.

Усреднение живых сечений при разной их величине в отдельных участках рассчитываемого газохода производится из условия усреднения скоростей, что равносильно усреднению значений $1/F$.

В случае, если в данном газоходе имеется несколько участков с одинаковым характером омывания поверхности нагрева, но различными живыми сечениями, в расчет вводится средняя площадь сечения:

$$F_{cp} = \frac{H_1 + H_2 + \dots}{\frac{H_1}{F_1} + \frac{H_2}{F_2} + \dots}, \text{ м}^2, \quad (7-29)$$

где $H_1, H_2, \dots$ — поверхности нагрева участков с живыми сечениями $F_1, F_2, \dots, \text{ м}^2$.

При различных входном F' и выходном F'' сечениях пучка в случае плавного изменения сечения усреднение производится по формуле

$$F_{cp} = \frac{2F'F''}{F' + F''}, \text{ м}^2. \quad (7-30)$$

При расхождении в площади сечений не более чем на 25% можно производить арифметическое усреднение сечений.

При наличии в пучке газовых коридоров или при параллельно включенных газоходах расчетное живое сечение определяется по формуле

$$F_{cp} = F_n + F_m \sqrt{\frac{\xi_n (\vartheta_n + 273)}{\xi_m (\vartheta_m + 273)}}, \text{ м}^2, \quad (7-31)$$

где F_n и F_m , ξ_n и ξ_m , ϑ_n и ϑ_m — соответственно площади живого сечения, коэффициенты гидравлического сопротивления и средняя температура газов для пучка и шунтирующего газохода.

Схемы для выбора расчетных живых сечений сложного омываемых пучков показаны на рис. 7-3.

7-18. Расчетная температура потока газов равна сумме средней температуры обогреваемой среды и температурного напора. При охлаждении газов не более чем на 300°C расчетную температуру потока с достаточной точностью можно определять как полусумму температур газов на входе в поверхность нагрева ϑ' и выходе из нее ϑ'' :

$$\vartheta = \frac{\vartheta' + \vartheta''}{2}, \text{ } ^\circ\text{C}. \quad (7-32)$$

7-19. Расчетный определяющий линейный размер принимается в зависимости от компоновки поверхности нагрева и характера омывания; его выбор указан в каждом из рассматриваемых ниже случаев теплообмена.

7-20. Коэффициент теплоотдачи конвекцией¹ при по-

¹ Формулы для определения коэффициентов теплоотдачи конвекцией при поперечном омывании выведены в результате исследований коридорных и шахматных пучков в диапазоне изменения критерия Рейнольдса от $1,5 \cdot 10^3$ до $100 \cdot 10^3$. В обычно встречающихся случаях расчета котельных агрегатов числа Re не выходят за пределы указанных значений и проверка применимости формул не требуется.

перечном омывании коридорных пучков и ширм, отнесенный к полной поверхности труб (по наружной окружности), вычисляется по формуле

$$\alpha_k = 0,2 C_z C_s \frac{\lambda}{d} \left(\frac{wd}{\nu} \right)^{0,65} \text{Pr}^{0,33}, \text{ ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}). \quad (7-33)$$

Здесь C_z — поправка на число рядов труб по ходу газов, определяется в зависимости от среднего числа рядов в отдельных пакетах рассчитываемого пучка по выражениям:

$$\left. \begin{aligned} \text{при } z_2 < 10 \quad C_z &= 0,91 + 0,0125 (z_2 - 2); \\ \text{при } z_2 \geq 10 \quad C_z &= 1; \end{aligned} \right\} \quad (7-34)$$

C_s — поправка на геометрическую компоновку пучка, определяется в зависимости от относительных продольного σ_2 и поперечного σ_1 шагов по формуле

$$C_s = \left[1 + (2\sigma_1 - 3) \left(1 - \frac{\sigma_2}{2} \right)^3 \right]^{-1}, \quad (7-35)$$

где $\sigma_1 = s_1/d$ и $\sigma_2 = s_2/d$.

При $\sigma_2 \geq 2$, а также при $\sigma_1 \leq 1,5$ $C_s = 1$.

При $\sigma_2 < 2$ и $\sigma_1 > 3$ в формулу (7-35) подставляется значение $\sigma_1 = 3$;

λ — коэффициент теплопроводности при средней температуре потока, ккал/(м·ч·°C); определяется по п. 3-05;

ν — коэффициент кинематической вязкости при средней температуре потока, м²/сек; находится по п. 3-03;

d — диаметр труб, м;

w — скорость теплоносителя, м/сек.

Критерий Прандтля Pr при средней температуре потока определяется согласно п. 3-08.

По формулам (7-33) — (7-35) построена расчетная номограмма 12. Влияние изменения физических характеристик от температуры и состава газов на коэффициент теплоотдачи учитывается при помощи коэффициента C_ϕ .

Для котлов, работающих с наддувом более 1,05 кгс/см², коэффициент теплоотдачи конвекцией можно определять по той же номограмме. При этом расчетная скорость должна условно находиться по объему газов при атмосферном давлении согласно формуле (7-21). Это относится и к другим случаям конвективного теплообмена в котлах под давлением.

7-21. Коэффициент теплоотдачи конвекцией при поперечном омывании шахматных¹ пучков определяется по формуле

$$\alpha_k = C_s C_z \frac{\lambda}{d} \left(\frac{wd}{\nu} \right)^{0,6} \text{Pr}^{0,33}, \text{ ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}). \quad (7-33)$$

где C_s — коэффициент, определяемый в зависимости от относительного поперечного шага σ_1 и значения

$$\varphi_\sigma = \frac{\sigma_1 - 1}{\sigma_1' - 1};$$

средний относительный диагональный шаг труб

$$\sigma_1' = \sqrt{\frac{1}{4} \sigma_1^2 + \sigma_2^2};$$

σ_2 — относительный продольный шаг труб;

$$\text{при } 0,1 < \varphi_\sigma \leq 1,7 \quad C_s = 0,34 \varphi_\sigma^{0,1}; \quad (7-37a)$$

¹ Перекрестный пучок, в котором четные ряды труб расположены под прямым углом к нечетным, рассчитывается как обычный шахматный.

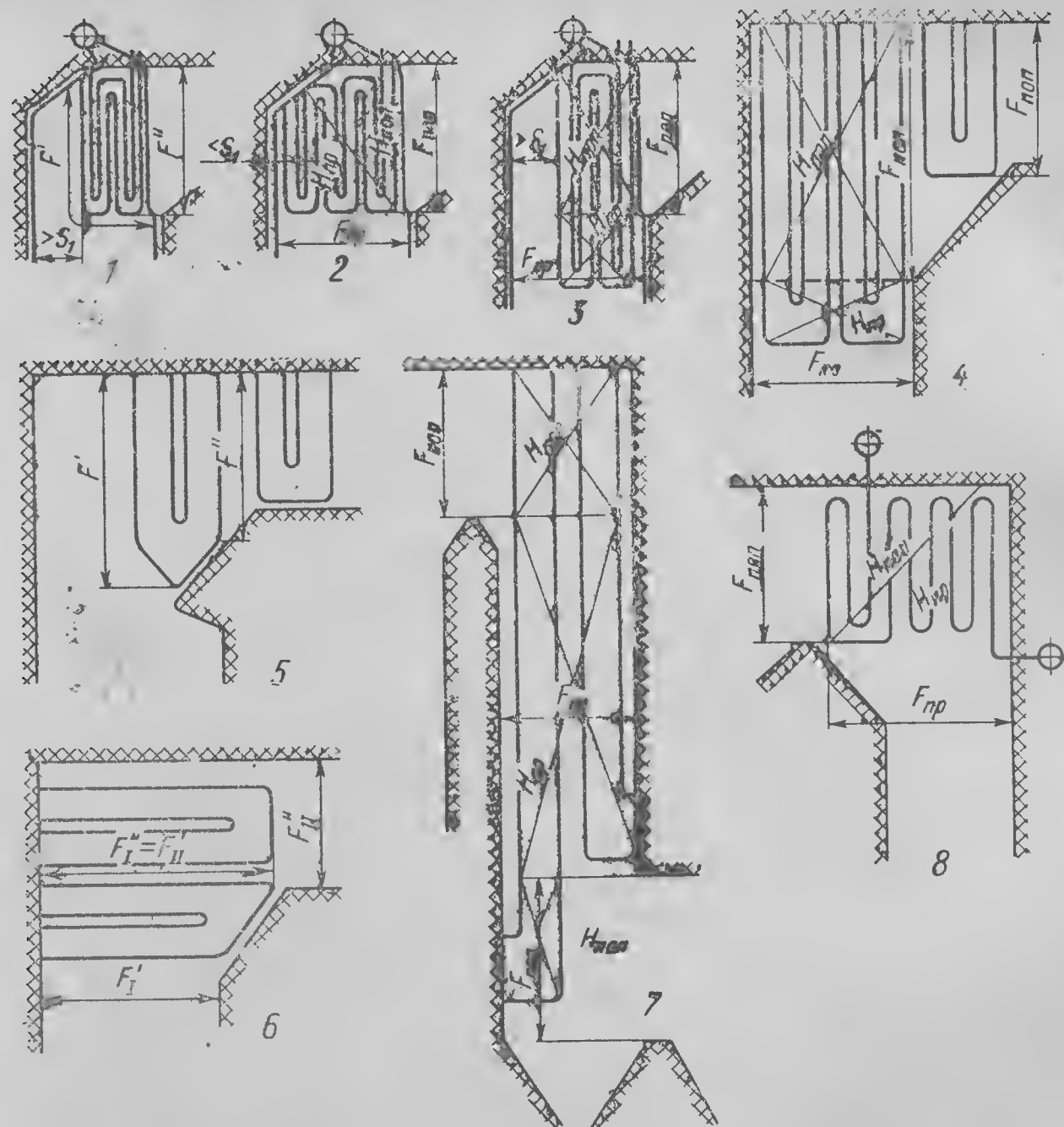


Рис. 7-3. К расчету сложно омываемых поверхностей.

при $1,7 < \varphi_0 \leq 4,5$ $C_s = 0,275 \varphi_0^{0,5}$ для $\sigma_1 < 3$ (7-37б)

и

$C_s = 0,34 \varphi_0^{0,1}$ для $\sigma_1 \geq 3,0$; (7-37в)

C_z — поправка на число рядов труб по ходу газов, определяемая по формулам:

при $z_2 < 10$ и $\sigma_1 < 3,0$ $C_z = 3,12 z_2^{0,05} - 2,5$; (7-38а)

при $z_2 < 10$ и $\sigma_1 \geq 3,0$ $C_z = 4 z_2^{0,02} - 3,2$; (7-38б)

при $z_2 \geq 10$ $C_z = 1$.

Остальные обозначения даны согласно п. 7-20.

По формулам (7-36) — (7-38) построена номограмма 13 для определения коэффициента теплоотдачи конвекцией при поперечном омывании шахматных пучков дымовыми газами или воздухом.

7-22. При переменных по глубине или ширине газохода шагах труб пучка в расчет вводятся усредненные по поверхности нагрева значения шага:

$$s_{ср} = \frac{s' H' + s'' H'' + \dots}{H' + H'' + \dots}, \text{ м}, \quad (7-39)$$

где H' , H'' — поверхности нагрева частей пучка с шагами s' , s'' , м².

7-23. При наличии в газоходе нескольких участков с одинаковым характером омывания и различным диаметром труб расчет ведется по усредненному диаметру пропорционально их поверхностям нагрева.

При этом усредняется величина $1/d$ и расчетный диаметр определяется по формуле

$$d_{ср} = \frac{H_1 + H_2 + \dots}{\frac{H_1}{d_1} + \frac{H_2}{d_2} + \dots}. \quad (7-40)$$

7-24. Для пучков, в которых трубы частично расположены в шахматном порядке, частично — в коридорном, коэффициент теплоотдачи вычисляется отдельно для каждой части (при средних значениях температуры и скорости в пучке) и усредняется пропорционально поверхностям нагрева обеих частей по формуле

$$\alpha_k = \frac{\alpha_{\text{шах}} H_{\text{шах}} + \alpha_{\text{кор}} H_{\text{кор}}}{H_{\text{шах}} + H_{\text{кор}}}, \text{ ккал/(м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C)}. \quad (7-41)$$

Если поверхность нагрева труб, расположенных в шахматном (коридорном) порядке, превышает 85%

всей поверхности нагрева, пучок рассчитывается как шахматный (коридорный).

7-25. Для пучков, омываемых косым потоком, расчетная скорость вычисляется по сечению F_p согласно рис. 7-4. К значению коэффициента теплоотдачи, определяемому по формулам для поперечного омывания, при величине угла между направлением потока и осями труб $\beta < 80^\circ$ для коридорных пучков вводят поправку в виде постоянного коэффициента 1,07; для шахматных пучков поправку не вводят.

7-26. Коэффициент теплоотдачи при продольном омывании поверхностей нагрева зависит от режима течения жидкости. В котельных агрегатах, как правило, имеет место развитое турбулентное движение (дымовых газов, воздуха, воды, пара). Лишь в пластинчатых воздухоподогревателях, в которых течение характеризуется числами Рейнольдса менее 10^4 , имеется переходная область от ламинарного к турбулентному режиму.

Ниже приведены формулы для определения коэффициента теплоотдачи при развитом турбулентном течении: общая для всех видов продольно обтекаемых поверхностей нагрева и для пластинчатых воздухоподогревателей при $Re < 10^4$.

В регенеративных воздухоподогревателях, выполненных из волнистых листов, омываемых потоком под углом к волне, характер движения газов и воздуха отличается от чисто продольного. Для них приведены отдельные расчетные формулы.

7-27. Коэффициент теплоотдачи при продольном обтекании поверхности нагрева однофазным турбулентным потоком при давлении и температуре, далеких от критических, определяется по формуле

$$\alpha_n = 0,023 \frac{\lambda}{d_0} \left(\frac{wd_0}{\nu} \right)^{0,8} Pr^{0,4} C_t C_d C_L, \text{ ккал}/(м^2 \cdot ч \cdot ^\circ C), \quad (7-42)$$

где λ — коэффициент теплопроводности, $\text{ккал}/(м \cdot ч \cdot ^\circ C)$, при средней температуре среды, определяемый для воздуха и дымовых газов по п. 3-05, для пара и воды — по табл. VI;

ν — коэффициент кинематической вязкости, $\text{м}^2/\text{сек}$, при средней температуре потока, определяемый для воздуха и дымовых газов по п. 3-03, для пара и воды — по п. 3-02;

w — расчетная скорость, определяемая по п. 7-16, $\text{м}/\text{сек}$;

d_0 — эквивалентный диаметр, м ;

Pr — критерий Прандтля при средней температуре потока, определяемый для воздуха и дымовых газов по п. 3-08, для пара и воды — по табл. VII.

При течении в круглой трубе ее эквивалентный диаметр равен внутреннему. При течении в трубе некруглого сечения, в кольцевом канале и при продольном омывании пучков эквивалентный диаметр подсчитывается по формуле

$$d_0 = \frac{4F}{u}, \text{ м}, \quad (7-43a)$$

где F — площадь живого сечения канала, м^2 ;

u — полный омываемый периметр, м .

Для газохода прямоугольного сечения, заполненного трубами ширм или конвективных пучков:

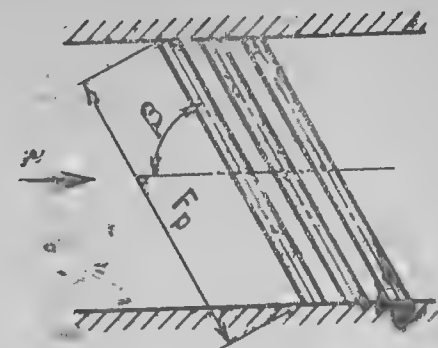
$$d_0 = \frac{4 \left(ab - z \frac{\pi d^2}{4} \right)}{2(a+b) + \pi d}, \text{ м}, \quad (7-436)$$

где a и b — поперечные размеры газохода в свету, м ;

z — количество труб в газоходу;

d — наружный диаметр труб, м .

Рис. 7-4. К расчету площади живого сечения при косом омывании пучка.



Для узких вытянутых щелевых каналов (пластинчатые воздухоподогреватели) эквивалентный диаметр может быть принят равным удвоенной ширине щели: $d_0 \approx 2b$.

Поправка C_t в общем случае зависит от температуры потока и стенки.

Для дымовых газов и воздуха поправка C_t вводится только при их нагревании:

$$C_t = \left(\frac{T}{T_{ст}} \right)^{0,5}, \quad (7-44a)$$

где T — температура газа (воздуха), К ;

$T_{ст}$ — температура стенки, К .

При охлаждении газов $C_t = 1$.

В элементах котельного агрегата температура стенки при течении пара мало отличается от температуры среды, поэтому $C_t = 1$.

Для регенеративных вращающихся воздухоподогревателей средняя температура стенки листов определяется по формуле

$$t_{ст} = \frac{\vartheta_r x_1 + t_v x_2}{x_1 + x_2},$$

где ϑ_r и t_v — средняя температура газов и воздуха;

x_1 и x_2 — см. п. 7-14.

Для воды и других капельных неметаллических жидкостей ($Pr > 0,7$)

$$C_t = \left(\frac{\mu}{\mu_{ст}} \right)^n, \quad (7-446)$$

где $n = 0,11$ при нагревании жидкостей и $0,25$ — при охлаждении;

μ и $\mu_{ст}$ — динамическая вязкость жидкости при средней температуре и при температуре стенки.

В элементах котельного агрегата температура воды высокая и вязкость слабо зависит от нее. Поэтому для воды, протекающей в котле, принимают $C_t = 1$.

Поправка C_d вводится только при течении в кольцевых каналах и одностороннем обогреве (внутренней или наружной поверхности), определяется по рис. 7-5; при двустороннем обогреве $C_d = 1$.

Поправка на относительную длину C_L вводится в случае прямого входа в трубу без закругления при значениях $l/d < 50$ и находится по номограмме 14. При продольном омывании газами поправка C_L вводится для котельных пучков и не вводится для ширм.

Для воздуха и дымовых газов α_n определяется по номограмме 14; для пара, исключая критическую область, — по номограмме 15; для некипящей воды при высоких температурах, вдали от критической области — по номограмме 16.

В номограмме 14 поправочный коэффициент C_ϕ учитывает не только влияние изменения физических характеристик, но и поправку C_t . В номограммах 14 и 16 коэффициентами C_d и C_L учитывается только изменение физических характеристик.

При определении поправки C_ϕ температура стенки воздухоподогревателя принимается равной среднearифметической температуре воздуха и газов.

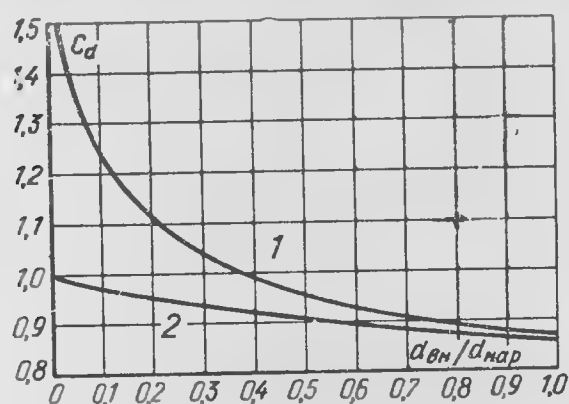


Рис. 7-5. Поправка C_d для течения в кольцевых каналах. 1 — внутренний обогрев; 2 — наружный обогрев.

Для продольно обтекаемых ширм коэффициент теплоотдачи конвекцией вычисляется по формуле (7-42) или номограмме 14.

7-28. Коэффициент теплоотдачи конвекцией для пластинчатых воздухоподогревателей при $Re < 10^4$ определяется по формуле

$$\alpha_k = 0,00365 \frac{\lambda}{\nu} \omega Pr^{0,4}, \text{ ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}). \quad (7-45)$$

Значения входящих в нее величин те же, что и в (7-42).

По формуле (7-45) построена номограмма 17.

При $Re > 10^4$ расчет ведется по формуле (7-42) или номограмме 14. Допустимость пользования номограммой 17 проверяется при помощи ее вспомогательных линий.

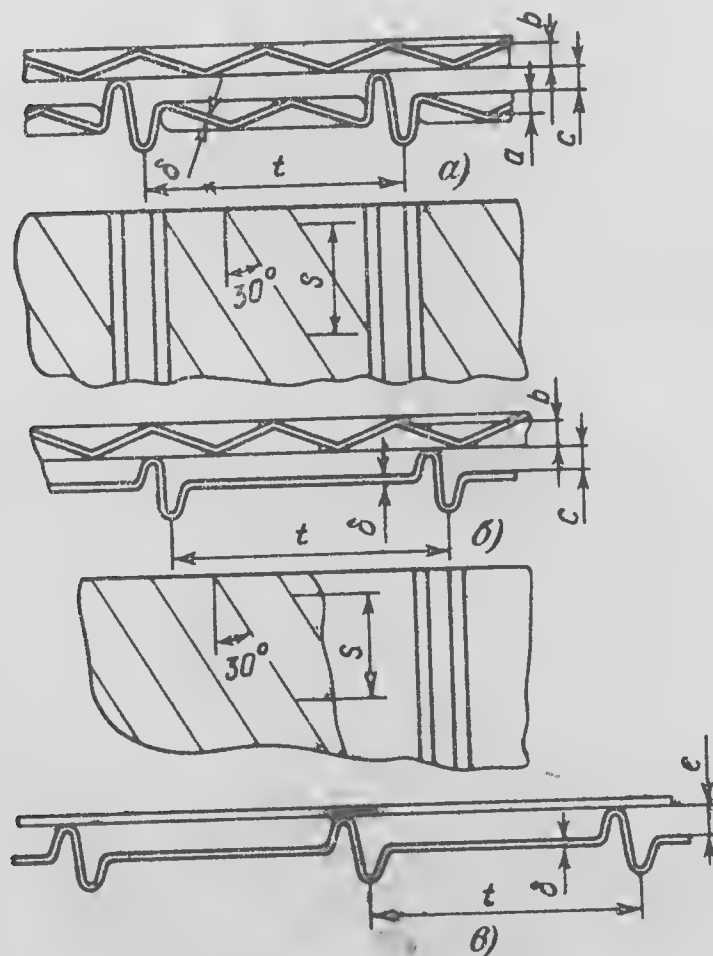


Рис. 7-6. Схемы набивок регенеративных воздухоподогревателей.

а — с волнистыми дистанционирующими листами; б — с гладкими дистанционирующими листами; в — с гладкими листами.

7-29. Коэффициент теплоотдачи для вращающихся регенеративных воздухоподогревателей (РВВ) по газовой и воздушной сторонам определяется по следующей формуле¹:

$$\alpha_k = A \frac{\lambda}{d_0} \left(\frac{\omega d_0}{\nu} \right)^{0,8} Pr^{0,4} C_t C_l, \text{ ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}). \quad (7-46)$$

Значения коэффициентов C_t и C_l определяются по п. 7-27.

Коэффициент A зависит от типа набивки.

Для набивки из волнистых и дистанционирующих листов $A=0,027$; из гладких и дистанционирующих $A=0,021$; для интенсифицированной набивки из одних волнистых листов (рис. 7-6) коэффициент A зависит от суммарной высоты волны $a+b$:

$A=0,027$ при $a+b=2,4$ мм;

$A=0,037$ при $a+b \geq 4,8$ мм.

По формуле (7-46) построена номограмма 18.

Эквивалентный диаметр набивки d_0 определяется по общей формуле (7-43а) и равен: для интенсифицированной набивки — 9,6 мм, для неинтенсифицированной — 7,8 мм, для холодной ступени, состоящей из гладких листов, — 9,8 мм.

Для эмалированных листов холодной ступени воздухоподогревателя значение коэффициента A снижается на 5% в сравнении с металлическими листами.

При керамической набивке квадратного сечения $A=0,021$.

Живое сечение для прохода газов и воздуха и поверхность нагрева РВВ для набивок указанных типов определяются по формулам

$$F = 0,785 D_{вн}^2 x K_p K_l, \text{ м}^2; \quad (7-47a)$$

$$H = 0,95 \cdot 0,785 D_{вн}^2 x K_p h C, \text{ м}^2, \quad (7-47b)$$

где $D_{вн}$ — внутренний диаметр ротора, м;

x — часть общего сечения РВВ, омываемая газом или воздухом;

K_p — коэффициент, учитывающий загромождение сечения ротора ступицей и перегородками; определяется в зависимости от $D_{вн}$ по рис. 7-7;

K_l — коэффициент, учитывающий загромождение сечения ротора листами. Его величина в зависимости от эквивалентного диаметра набивки d_0 и толщины листа δ_l принимается по таблице (см ниже);

h — высота набивки, м;

C — двусторонняя поверхность нагрева в 1 м³ объема ротора (за вычетом объема ступицы и перегородок), м²/м³; величина C в зависимости от эквивалентного диаметра набивки дана в нижеследующей таблице.

$d_0, \text{ мм}$	$\delta_l, \text{ мм}$	K_l	$C, \text{ м}^2/\text{м}^3$
9,6	0,63	0,89	365
7,8	0,63	0,86	140
9,8	1,20	0,81	325

Коэффициент 0,95 в формуле (7-47b) учитывает степень заполнения ротора листами поверхности нагрева.

Для холодной ступени РВВ живое сечение, рас-

¹ Формула (7-46) обоснована опытами, проведенными при $Re=1000 \div 10000$. В обычно встречающихся случаях не выходят за пределы указанных значений Re , поэтому не требуется проверка применимости формулы.

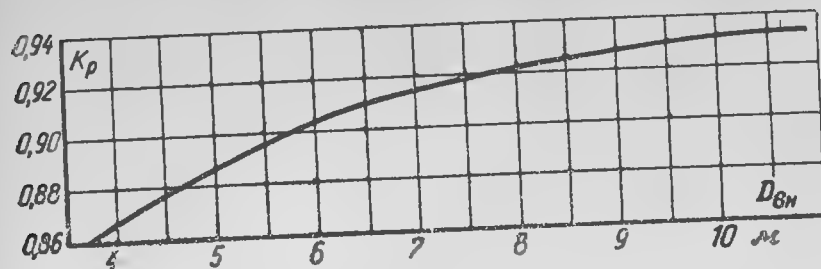


Рис. 7-7. Коэффициент K_p .

считанное по формуле (7-47а), умножается на 1,02.

7-30. Для пучка, омываемого частично продольным и частично поперечным потоками, по средним расходам и температуре газов определяются скорости на участках с продольным и поперечным потоками и по соответствующим формулам (номограммам) — коэффициенты теплоотдачи для обеих частей поверхности нагрева.

Примеры условной разбивки смешанно омываемых пучков на продольно и поперечно омываемые участки и указания по определению сечений отдельных участков приведены на рис. 7-3.

При наличии нескольких одинаково омываемых участков с различными сечениями расчетное живое сечение усредняется по поверхностям нагрева участков по формуле (7-29).

в) Коэффициент теплоотдачи излучением продуктов сгорания

7-31. В расчете учитывается излучение трехатомных газов, а при сжигании твердых топлив — и взвешенных в потоке частиц золы. Количество тепла, переданное 1 м^2 поверхности нагрева излучением ($q_{\text{л}}$, ккал/($\text{м}^2 \cdot \text{ч}$)), определяется при помощи коэффициента теплоотдачи излучением продуктов сгорания:

$$\alpha_{\text{л}} = \frac{q_{\text{л}}}{\Phi - t_{\text{з}}}, \text{ ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}), \quad (7-48)$$

где Φ и $t_{\text{з}}$ — температуры газов и наружной поверхности стенки с учетом загрязнений, $^\circ\text{C}$.

7-32. Коэффициент теплоотдачи излучением продуктов сгорания находится по следующим формулам: для запыленного потока (при учете излучения золы)

$$\alpha_{\text{л}} = 4,9 \cdot 10^{-8} \frac{a_{\text{з}} + 1}{2} a T^3 \times \frac{1 - \left(\frac{T_{\text{з}}}{T}\right)^4}{1 - \frac{T_{\text{з}}}{T}}, \text{ ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}); \quad (7-49)$$

для газового потока (при отсутствии золы)

$$\alpha_{\text{л.г}} = 4,9 \cdot 10^{-8} \frac{a_{\text{з}} + 1}{2} a T^3 \times \frac{1 - \left(\frac{T_{\text{з}}}{T}\right)^{3,6}}{1 - \frac{T_{\text{з}}}{T}}, \text{ ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}). \quad (7-50)$$

В этих формулах $a_{\text{з}}$ — степень черноты загрязненных стенок лучевоспринимающих поверхностей; для расчета теплоотдачи излучением к котельным поверхностям нагрева принимается $a_{\text{з}} = 0,8$; для шлакоулавливающих пучков $a_{\text{з}} = 0,68$; a — степень черноты потока

газов при температуре T , определяемая по формуле $a = 1 - e^{-kps}$, (7-51)

kps — суммарная оптическая толщина продуктов сгорания; для котлов без наддува принимается $p = 1 \text{ кгс}/\text{см}^2$;

T — абсолютная температура, К, продуктов сгорания; температура потока, $^\circ\text{C}$, определяется по формуле (7-32);

$T_{\text{з}}$ — абсолютная температура загрязненной наружной поверхности, К.

По формуле (7-49) построена номограмма 19 для нахождения коэффициента теплоотдачи излучением запыленного потока $\alpha_{\text{л}}$ в зависимости от температур потока и стенки, а также от степени черноты продуктов сгорания, определяемой по номограмме 2.

Для получения коэффициента теплоотдачи излучением незапыленного газового потока значение $\alpha_{\text{л}}$, найденное по номограмме 19, умножают на коэффициент $C_{\text{г}}$, определяемый по вспомогательному полю этой номограммы.

7-33. Суммарная оптическая толщина запыленного газового потока рассчитывается по формуле

$$kps = (k_{\text{г}} r_{\text{г}} + k_{\text{зл}} \mu_{\text{зл}}) ps. \quad (7-52)$$

Для незапыленного потока (продукты сгорания газообразных и жидких топлив) второе слагаемое равно нулю; его можно не вводить в расчет также при слоевом и факельно-слоевом сжигании твердых топлив.

Входящие в формулу (7-52) величины приведены ниже.

7-34. Коэффициент ослабления лучей трехатомными газами $k_{\text{г}} r_{\text{г}}$ определяется по формуле (6-08) или номограмме 3 в зависимости от объемной доли водяных паров, температуры газов и произведения суммарного парциального давления трехатомных газов на эффективную толщину излучающего слоя.

Коэффициент ослабления лучей золовыми частицами $k_{\text{зл}} \mu_{\text{зл}}$ находится по формуле (6-13) или номограмме 4 в зависимости от температуры продуктов сгорания, типа топочного устройства и вида топлива.

7-35. Эффективная толщина излучающего слоя при излучении ограниченного со всех сторон газового объема на ограждающие поверхности определяется по формуле

$$s = 3,6 \frac{V}{F_{\text{ст}}}, \text{ м}, \quad (7-53)$$

где V — объем излучающего слоя, м^3 ;

$F_{\text{ст}}$ — площадь ограждающих поверхностей, м^2 .

Для гладкотрубных пучков формула (7-53) преобразуется к следующему виду:

$$s = 0,9d \left(\frac{4}{\pi} \frac{s_1 s_2}{d^2} - 1 \right), \text{ м}; \quad (7-54)$$

для ширмовых поверхностей нагрева

$$s = \frac{1,8}{\frac{1}{A} + \frac{1}{B} + \frac{1}{C}}, \text{ м}, \quad (7-55)$$

где A , B , C — высота, ширина и глубина единичной камеры, образованной двумя соседними ширмами, м ;

s_1 , s_2 — усредненные по поверхности нагрева по (7-39) поперечный и продольный шаги труб, м .

Для пучков из плавниковых труб величину s , полученную по формуле (7-54), следует умножить на 0,4.

При расчете верхних ступеней воздухоподогревателей также учитывается излучение газов; эффективная толщина излучающего слоя принимается равной: для

трубчатых воздухоподогревателей $0,9d$, для пластинчатых $1,8b$ (d — внутренний диаметр трубы, м; b — расстояние между пластинами в свету, м).

Для ребристых поверхностей нагрева из-за малой толщины излучающего слоя теплоотдача излучением продуктов сгорания не учитывается.

При наличии газовых объемов в пределах поверхности нагрева или перед ней величина α'_n подсчитывается по указаниям п. 7-37.

7-36. При определении коэффициента теплоотдачи излучением ширмовых и конвективных перегревателей, испарительных ширм и настенных труб при сжигании твердого и жидкого топлив температура стенки труб принимается равной температуре наружного слоя золовых отложений на трубах и определяется по формуле

$$t_s = t + \left(\varepsilon + \frac{1}{\alpha_2} \right) \frac{B_p}{H} (Q + Q_n), \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (7-56)$$

где Q — тепловосприятие поверхности нагрева, определяемое из уравнений баланса (7-02) и (7-03) по предварительно принятой конечной температуре одной из сред, ккал/кг;

Q_n — тепло, воспринятое поверхностью нагрева излучением из топки или из объема перед поверхностью нагрева, ккал/кг;

t — средняя температура среды, $^\circ\text{C}$;

H — поверхность нагрева, м^2 (рассчитывается по п. 7-01);

α_2 — коэффициент теплоотдачи от стенки к пару, определяемый по формуле (7-42);

ε — коэффициент загрязнения, $(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C})/\text{ккал}$.

Для шахматных перегревателей при сжигании твердого топлива, а также ширм при сжигании жидкого и твердого топлив ε принимается по § 7-Б, д. Для коридорных перегревателей и настенных труб, а также шахматных перегревателей при сжигании жидкого топлива ориентировочно принимают $\varepsilon = 0,003$; для коридорных перегревателей и настенных труб при сжигании твердого топлива $\varepsilon = 0,005$ $(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C})/\text{ккал}$.

В остальных случаях температура загрязненной стенки рассчитывается по формуле

$$t_s = t + \Delta t, \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (7-57)$$

Для фестонов, расположенных на выходе из топки, $\Delta t = 80^\circ\text{C}$.

Для одноступенчатых экономайзеров при $\vartheta' > 400^\circ\text{C}$, вторых ступеней двухступенчатых экономайзеров, переходных зон прямоточных котлов и котельных пучков котлов малой мощности при сжигании твердых и жидких топлив, а также древесины при шахматном и коридорном расположении труб $\Delta t = 60^\circ\text{C}$.

Для первых ступеней двухступенчатых экономайзеров и одноступенчатых при $\vartheta' \leq 400^\circ\text{C}$, для шахматных и коридорных пучков при сжигании всех твердых и жидких топлив $\Delta t = 25^\circ\text{C}$. При сжигании газа для всех поверхностей нагрева принимают $\Delta t = 25^\circ\text{C}$.

Для вторых ступеней воздухоподогревателей температура стенки принимается равной полусумме температур газов и воздуха.

7-37. Тепло излучения газового объема на настенную поверхность нагрева, пучок труб и отдельно стоящий ряд труб определяется по формуле

$$Q_n = \alpha_n \frac{(\vartheta_{\text{ср}} - t_s) H_n}{B_n}, \text{ ккал/кг}, \quad (7-58)$$

где α_n — коэффициент теплоотдачи излучением, определяется по пп. 7-32—7-35 при средних значениях температуры газов в объеме $\vartheta_{\text{ср}}$, объемных долей трехатомных газов $r_{\text{H}_2\text{O}}$ и r_n и концентрации золовых частиц $\mu_{\text{зп}}$;

t_s — температура загрязненной стенки труб, $^\circ\text{C}$, определяется по п. 7-36;

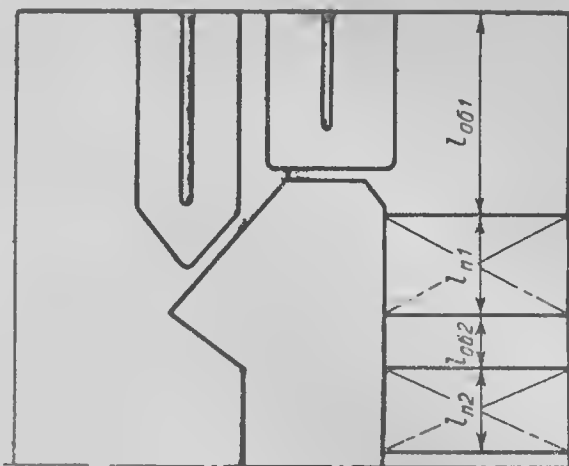


Рис. 7-8. К учету излучения газовых объемов.

H_n — лучевоспринимающая поверхность нагрева, м^2 , определяется по п. 6-03.

Излучение газовых объемов, расположенных перед конвективными пучками или между ними, может учитываться приближенно путем увеличения расчетного коэффициента теплоотдачи излучением пучка α_n по следующей формуле

$$\alpha'_n = \alpha_n \left[1 + A \left(\frac{T_n}{1000} \right)^{0,25} \times \left(\frac{l_{\text{об}}}{l_n} \right)^{0,07} \right], \text{ ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}), \quad (7-59)$$

где l_n и $l_{\text{об}}$ — глубина (по ходу газов) рассчитываемого пучка и газового объема, м (рис. 7-8);

T_n — температура газов в объеме камеры (перед пакетом), К.

Коэффициент $A = 0,3$ при сжигании газа и мазута, $0,4$ — при сжигании каменных углей и АШ, $0,5$ — при сжигании бурых углей, сланцев и фрезерного торфа.

Тепло, переданное трубному пучку излучением газового объема, расположенного за пучком, незначительно и может не учитываться. Также может не учитываться излучение на ширмы газовых объемов, расположенных между их ступенями или за ними, так как степени черноты в этих объемах и ширмах близки. То же относится к фестонам.

г) Коэффициент теплопередачи в ребристых и плавниковых поверхностях нагрева

7-38. Для чугунных ребристых экономайзеров ЦКБ и ВТИ при помощи номограммы 20 по скорости и температуре газов непосредственно определяется коэффициент теплопередачи с учетом коэффициента тепловой эффективности. Кривая для экономайзера ВТИ построена с учетом эффекта систематической обдувки. Без обдувки коэффициент теплопередачи уменьшается на 20%.

7-39. Для чугунных ребристых и ребристо-зубчатых воздухоподогревателей, выпускаемых отечественными заводами, коэффициент теплопередачи, отнесенный к полной поверхности с газовой стороны H , определяется по формуле

$$k = \frac{\xi}{\frac{1}{\alpha_{1\text{нр}}} + \frac{1}{\alpha_{2\text{нр}}} \frac{H}{H_{\text{вл}}}} \cdot \text{ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}), \quad (7-60)$$

где ξ — коэффициент использования, определяется по § 7-Б, д;

$\alpha_{1пр}, \alpha_{2пр}$ — приведенные коэффициенты теплоотдачи чистых труб с газовой и воздушной стороны, $\text{ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C})$; они учитывают сопротивление теплопереходу не только на поверхности, но и через металл ребер;

$H/H_{\text{вн}}$ — отношение полной поверхности с наружной (газовой) стороны к полной поверхности с внутренней стороны.

Ребристые трубы отличаются от ребристо-зубчатых только формой оребрения воздушной стороны.

Приведенный коэффициент теплоотдачи с газовой стороны для чистых труб, отнесенный к полной наружной поверхности, определяется по номограмме 21, построенной по формуле

$$\alpha_{1пр} = 0,0355 \frac{\lambda}{s_{рб}} \left(\frac{ws_{рб}}{\nu} \right)^{0,72}, \text{ ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}), \quad (7-61)$$

где λ — коэффициент теплопроводности при средней температуре потока, $\text{ккал}/(\text{м} \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C})$; определяется по п. 3-05;

ν — коэффициент кинематической вязкости при средней температуре потока, $\text{м}^2/\text{сек}$; определяется по п. 3-03;

w — скорость газов, $\text{м}/\text{сек}$; определяется по формуле (7-21);

$s_{рб}$ — шаг ребер, м ; принимается, как и другие размеры, по таблице и схемам номограммы 21.

Приведенный коэффициент теплоотдачи с воздушной стороны, отнесенный к полной внутренней поверхности, для труб с продольными ребрами внутри определяется по формуле

$$\alpha_{2пр} = 0,0109 \left(1 + \frac{6,0}{l_{ор}/d_0} \right) \times \frac{\lambda}{d_0} \left(\frac{wd_0}{\nu} \right)^{0,84}, \text{ ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}). \quad (7-62)$$

Для труб с зубчатой внутренней поверхностью: при $Re \geq 10^4$:

$$\alpha_{2пр} = 0,0923 \left(1 + \frac{1,7}{l_{ор}/d_0} \right) \times \frac{\lambda}{d_0} \left(\frac{wd_0}{\nu} \right)^{0,66}, \text{ ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}); \quad (7-63)$$

при $Re < 10^4$

$$\alpha_{2пр} = 0,0331 \left(1 + \frac{2,4}{l_{ор}/d_0} \right) \frac{\lambda}{d_0} \times \left(\frac{wd_0}{\nu} \right)^{0,77}, \text{ ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}). \quad (7-64)$$

В этих формулах $l_{ор}$ — длина оребренной части труб, м ; d_0 — эквивалентный диаметр, м .

По формулам (7-62) — (7-64) построена номограмма 22.

7-40. Коэффициент теплопередачи чугунных плитчатых воздухоподогревателей Кусинского завода (типа Каблин) определяется также по формуле (7-60).

Приведенные коэффициенты теплоотдачи чистых плит с газовой и воздушной сторон определяются по номограмме 23.

7-41. Для плавниковых экономайзеров при сжигании мазута и газа коэффициент теплопередачи, отнесенный к полной поверхности труб с газовой стороны, определяется по формуле

$$k = \psi \alpha_{1пр}, \text{ ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}), \quad (7-65)$$

где ψ — коэффициент тепловой эффективности, находится по § 7-Б, д;

$\alpha_{1пр}$ — приведенный коэффициент теплоотдачи с наружной стороны, $\text{ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C})$, определяется по п. 7-43.

Коэффициент теплоотдачи плавниковых экономайзеров при сжигании твердых топлив определяется по общей методике, изложенной ниже.

7-42. В последующих пунктах настоящей главы излагается общая методика, которая может быть использована для расчета теплопередачи в нестандартных ребристых элементах.

Для труб (плит), имеющих ребра с одной или обеих сторон, коэффициент теплопередачи, отнесенный к полной поверхности с газовой стороны, выражается так:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha'_{1пр}} + \frac{1}{\alpha_{2пр}} \frac{H}{H_{\text{вн}}}}, \text{ ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}). \quad (7-66)$$

В этой формуле $\alpha'_{1пр}$ и $\alpha_{2пр}$ — приведенные коэффициенты теплоотдачи с наружной (газовой) и внутренней сторон.

Величина $\alpha'_{1пр}$ в отличие от указанной в п. 7-39 $\alpha_{1пр}$ учитывает передачу тепла через слой загрязнения. При наличии ребер только с газовой стороны вместо $\alpha_{2пр}$ следует подставлять коэффициент теплоотдачи от внутренней поверхности стенки к обогреваемой среде α_2 . В расчетах экономайзеров влиянием $1/\alpha_2$ пренебрегают.

7-43. Приведенный коэффициент теплоотдачи с газовой стороны $\alpha'_{1пр}$ зависит от коэффициента теплоотдачи от омываемой среды к стенке α_1 , теплового сопротивления ребер и загрязняющего слоя.

Для ребристых поверхностей нагрева теплоотдача излучением продуктов сгорания не учитывается и $\alpha_1 = \alpha_k$ (α_k — коэффициент теплоотдачи конвекцией для ребристых поверхностей, $\text{ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C})$; определяется по п. 7-45).

Тепловое сопротивление ребер зависит от их толщины и формы, а также от коэффициента теплопроводности. По форме ребра подразделяются на два типа: с прямым и цилиндрическим основанием. К первым относятся ребра на плоской поверхности, продольные ребра на цилиндрической поверхности и поперечные наружные ребра на трубах, имеющих форму вытянутого овала; ко вторым — круглые и квадратные поперечные ребра на круглых трубах. Проволочные стержни рассчитываются как ребра с прямым основанием.

Величина $\alpha'_{1пр}$, отнесенная к полной поверхности с газовой стороны, определяется по формуле

$$\alpha'_{1пр} = \left[\frac{H_{рб}}{H} E_{\text{рб}} + \frac{H_{\text{пл}}}{H} \right] \frac{\psi_{рб} \alpha_k}{1 + \epsilon \psi_{рб} \alpha_k}, \text{ ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}), \quad (7-67)$$

где $H_{рб}/H$ — отношение поверхности ребер к полной поверхности с газовой стороны.

Для круглых труб с круглыми ребрами

$$\frac{H_{рб}}{H} = \frac{\left(\frac{D}{d} \right)^2 - 1}{\left(\frac{D}{d} \right)^2 - 1 + 2 \left(\frac{s_{рб}}{d} - \frac{\delta}{d} \right)};$$

с квадратными

$$\frac{H_{рб}}{H} = \frac{2 \left[\left(\frac{D}{d} \right)^2 - 0,785 \right]}{2 \left[\left(\frac{D}{d} \right)^2 - 0,785 \right] + \pi \left(\frac{s_{рб}}{d} - \frac{\delta}{d} \right)},$$

где $\frac{H_{\text{пл}}}{H} = \frac{H - H_{рб}}{H}$ — отношение участков несущей поверхности без ребер к полной поверхности с газовой стороны;

E — коэффициент эффективности ребра, определяемый в зависимости от формы ребер и параметров βh_{pb} и D/d по номограмме 24;

$$\beta = \sqrt{\frac{2\psi_{pb}\alpha_k}{\delta\lambda_m(1 + \epsilon\psi_{pb}\alpha_k)}}, \quad (7-68)$$

где D — диаметр круглого или сторона квадратного ребра, м;

d — диаметр несущей трубы, м;

h_{pb} и δ — высота и средняя толщина ребра, м;

s_{pb} — шаг ребер, м;

λ_m — коэффициент теплопроводности металла ребра, ккал/(м·ч·°С);

μ — коэффициент, учитывающий влияние уширения ребра к основанию; определяется по номограмме 24 в зависимости от параметров βh_{pb} и $\sqrt{\delta_2/\delta_1}$ (δ_2 и δ_1 — толщина ребра у вершины и основания);

ψ_{pb} — коэффициент, учитывающий неравномерную теплоотдачу по поверхности ребра, для ребер с прямым основанием (и проволочных стержней) — 0,9, с цилиндрическим — 0,85;

ϵ — коэффициент загрязнения, (м²·ч·°С)/ккал, определяемый по § 7-Б, д.

Для цилиндрических стержней из проволоки в формулу (7-68) вместо δ подставляется $d_0/2$, где d_0 — диаметр проволоки.

7-44. Приведенный коэффициент теплоотдачи с воздушной стороны, отнесенный к полной поверхности внутренней стороны, $\alpha_{зпр}$ при наличии с этой стороны ребер определяется также по формуле (7-67) при $\epsilon=0$.

7-45. Коэффициент теплоотдачи конвекцией при поперечном омывании пучков труб с поперечными ленточными и шайбовыми ребрами определяется по номограммам 25 и 26, построенным по следующим формулам:

$$\alpha_k = 0,105 C_z C_s \frac{\lambda}{s_{pb}} \left(\frac{d}{s_{pb}}\right)^{-0,54} \times \left(\frac{h_{pb}}{s_{pb}}\right)^{-0,14} \left(\frac{ws_{pb}}{v}\right)^{0,72}, \quad \text{ккал/(м}^2\cdot\text{ч}\cdot\text{°С)}, \quad (7-69)$$

где C_z — поправочный коэффициент, учитывающий влияние числа поперечных рядов в пучке; при $z < 4$ определяется по графику номограммы 25, при $z \geq 4$ принимается равным 1;

C_s — поправочный коэффициент, учитывающий геометрическое расположение труб в пучке; при $\sigma_2 \leq 2$ определяется по номограмме 25; при $\sigma_2 > 2,0$ равен 1;

$\sigma_2 = s_2/d$ — относительный продольный шаг труб;

h_{pb} и s_{pb} — высота и шаг ребер, м.

Остальные обозначения те же, что и в формуле (7-61).

Для шахматного пучка труб с круглыми ребрами

$$\alpha_k = 0,23 C_z \varphi_{\sigma}^{0,2} \frac{\lambda}{s_{pb}} \left(\frac{d}{s_{pb}}\right)^{-0,54} \times \left(\frac{h_{pb}}{s_{pb}}\right)^{-0,14} \left(\frac{ws_{pb}}{v}\right)^{0,65}, \quad \text{ккал/(м}^2\cdot\text{ч}\cdot\text{°С)}, \quad (7-70)$$

где коэффициент C_z определяется по номограмме 26;

$\varphi_{\sigma} = \frac{\sigma_1 - 1}{\sigma_2' - 1}$ — параметр, учитывающий геометрическое расположение труб в пучке; σ_2' — средний относительный диагональный шаг труб.

Обозначения остальных величин те же, что в формулах (7-61) и (7-69).

Для труб с квадратными ребрами коэффициент теплоотдачи равен $0,92\alpha_k$ (α_k — для круглых ребер с диаметром, равным стороне квадратного ребра).

7-46. Коэффициент теплоотдачи конвекцией при протекании потока в трубе с внутренними продольными ребрами определяется так же, как для обычного случая продольного омывания, по формуле (7-42) или номограмме 14.

7-47. Коэффициент теплоотдачи конвекцией при поперечном омывании шахматных пучков плавниковых труб, отнесенный к полной поверхности, определяется по номограмме 27, построенной по формуле:

$$\alpha_k = 0,14 C_z \varphi_{\sigma}^{0,24} \frac{\lambda}{d} \left(\frac{wd}{v}\right)^{0,68}, \quad \text{ккал/(м}^2\cdot\text{ч}\cdot\text{°С)}, \quad (7-71)$$

C_z — поправка на число рядов труб по ходу газов, определяемая по номограмме 27.

Остальные обозначения те же, что в формулах (7-61) и (7-70).

7-48. Коэффициент теплоотдачи конвекцией при поперечном омывании шахматных пучков труб с проволочным оребрением, отнесенный к полной поверхности:

$$\alpha_k = 2,55 \frac{\lambda}{s_b} \left(\frac{s_1}{d}\right)^{0,2} \left(\frac{s_2}{d}\right)^{-0,1} \left(\frac{l_0}{h}\right)^{0,36} \times \left(\frac{d}{s_b}\right)^{-0,6} \left(\frac{ws_b}{v}\right)^{0,46}, \quad \text{ккал/(м}^2\cdot\text{ч}\cdot\text{°С)}, \quad (7-72)$$

где d — наружный диаметр трубы, м;

s_b — шаг витка, м;

h — высота петли, м;

$l_0 = \pi d/z$ — шаг петли, м;

z — число петель на одном витке;

a — ширина петли, мм (см. номогр. 28);

F/F_n — живое сечение в долях от полного (см. номогр. 28);

H — полная поверхность нагрева на 1 м трубы, м² (см. номогр. 28);

H_{pb} — поверхность проволочного оребрения на 1 м трубы, кг (см. номогр. 28);

G — масса 1 м трубы, кг (см. номогр. 28).

Остальные обозначения см. формулу (7-61).

По формуле (7-72) построена номограмма 28.

д) Коэффициенты загрязнения, использования и тепловой эффективности поверхностей нагрева

7-49. Коэффициенты загрязнения ширмовых поверхностей нагрева при пылевидном и слоевом сжигании топлива принимаются в зависимости от характеристик топлива и средней температуры газов в газоходе по рис. 7-9.

При сжигании нешлакующих углей (типа экибастузского) ϵ принимается по кривой 1.

При сжигании умеренно шлакующих углей (АШ и Т с хорошим выжигом, каменные и бурые) ϵ принимается: при наличии эффективной очистки — по кривой 2, без очистки — по кривой 3.

При сжигании сильно шлакующих топлив (типа фрезерного торфа и северо-западных сланцев) коэффициенты загрязнения принимаются по кривым 3 и 4.

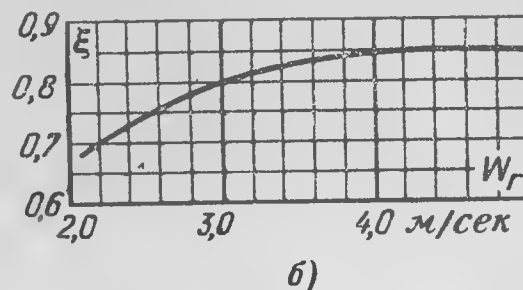
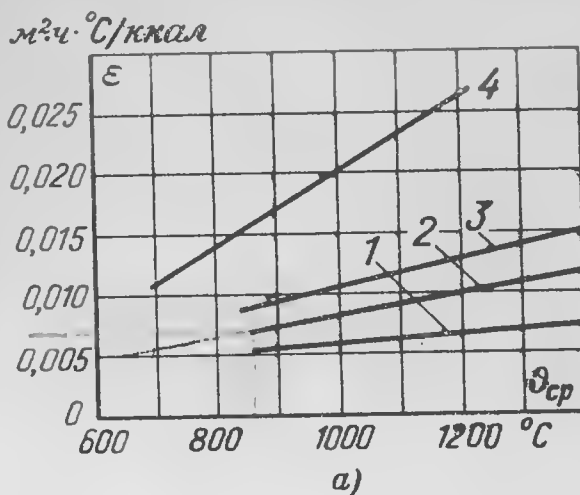
При сжигании мазута принимают $\epsilon = 0,006$ (м²·ч·°С)/ккал независимо от избытка воздуха в топке и содержания серы в мазуте.

При сжигании газа $\epsilon = 0$. Однако если газ сжигают после мазута или пыли, то происходит частичная самоочистка поверхностей нагрева. В этом случае коэффициент загрязнения следует принимать средним между значениями для мазута (пыли) и газа.

Для ширм, расположенных вверху топки и на повороте газов в конвективные газоходы, коэффициент

Рис. 7-9. Коэффициенты загрязнения (а) и использования (б) ширмовых перегревателей.

1 — нешлакующие угли типа экибастузского; 2 — умеренно шлакующие с очисткой; 3 — умеренно шлакующие без очистки и сильно шлакующие (типа фрезторфа) с очисткой; 4 — сланцы северо-западных месторождений с очисткой.



использования ξ принимается в зависимости от скорости дымовых газов по рис. 7-9: при $w_{г} \geq 4$ м/сек $\xi = 0,85$ *.

Ширмы, расположенные вверху топки на стороне, противоположной газовому окну, и занимающие часть сечения, рассчитываются вместе с топкой.

7-50. Для смешанно оmyаемых пучков, схематически изображенных на рис. 7-10, $\xi = 0,95$.

7-51. Конвективные перегреватели и экономайзеры с коридорным расположением труб при сжигании всех видов топлив рассчитываются по коэффициентам тепловой эффективности; при сжигании твердых топлив последние принимаются в соответствии с табл. 7-1.

7-52. Шахматные пучки труб, в том числе плавниковых, при сжигании твердых топлив рассчитываются по коэффициентам загрязнения, величина которых зависит от скорости газов, диаметра и шагов труб, а также от фракционного состава золы, содержащейся в продуктах сгорания.

Коэффициенты загрязнения определяются по формуле

$$\varepsilon = C_d C_{фр} \varepsilon_0 + \Delta \varepsilon, \quad (\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}) / \text{ккал}, \quad (7-73)$$

где ε_0 — исходный коэффициент загрязнения, зависящий от скорости газов и относительного продольного шага труб (рис. 7-11);

C_d — поправка на диаметр (рис. 7-11);

$C_{фр}$ — поправка на фракционный состав золы, характеризующая величиной $R_{зо}$ — содержанием частиц размером более 30 мкм, определяется по

* При отдельном расчете ступени ширм, свисающей над топкой и удаленной от газового окна (например, для определения температуры стенки) вследствие неполного оmyвания газами коэффициент использования снижается до 0,6 (см. рис. 6-2, поз. 1).

формуле:

$$C_{фр} = 1 - 1,18 \lg \frac{R_{зо}}{33,7}. \quad (7-74)$$

При отсутствии надежных данных о фракционном составе золы топлива принимают: для углей и сланцев $C_{фр} = 1$, для торфа $C_{фр} = 0,7$.

Поправки $\Delta \varepsilon$ принимаются по табл. 7-2.

7-53. Фестоны котлов большой мощности и развитые котельные пучки котлов малой мощности при сжигании всех видов топлива рассчитываются по коэффициентам тепловой эффективности; их значения в зависимости от рода твердого топлива принимаются по табл. 7-1.

Таблица 7-1

Род сжигаемого топлива	Необходимость очистки	Коэффициент тепловой эффективности ϕ
АШ и тощие угли	Требуется	0,6
Каменные, бурые угли (кроме канско-ачинских), промпродукты каменных углей	"	0,65
Подмосковный уголь	Не требуется	0,7
Бурые угли Канско-Ачинского месторождения, фрезторф и древесное топливо	Требуется	0,6*
Сланцы (северо-западные, кашпирский)	"	0,5

* При сжигании ирша-бородинских углей в котлах с полуразомкнутой схемой пылеприготвления коэффициент эффективности принимается равным 0,65.

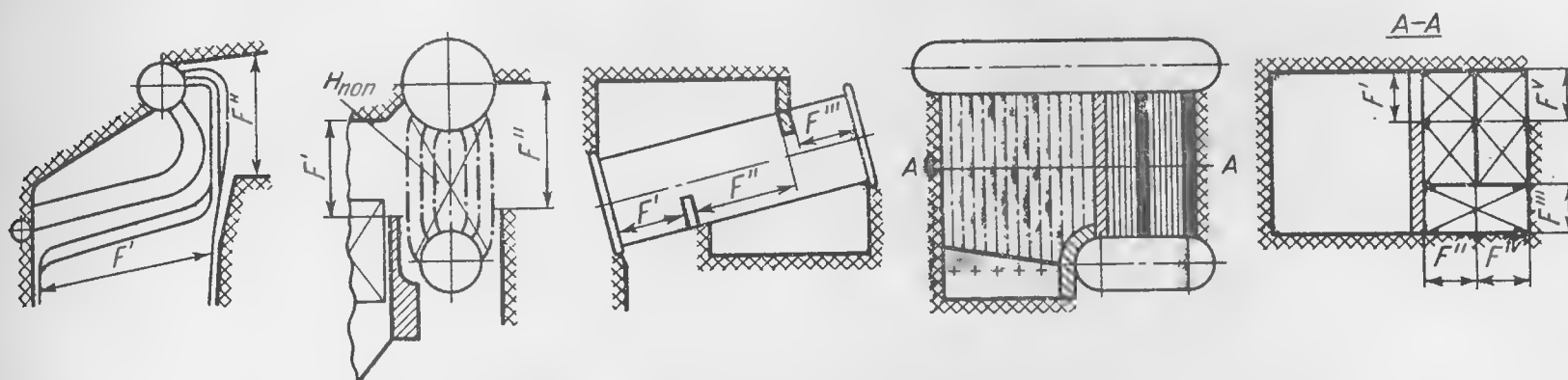


Рис. 7-10. К расчету смешанно оmyаемых поверхностей нагрева.

Таблица 7-2

Наименование поверхностей нагрева	Поправка $\Delta\epsilon$ для			
	топлив, дающих сыпучие отложения (в том числе АШ при $G_{ун} > 20\%$)	антрацитового штыба		канско-ачинских углей и сланцев с очисткой, фрезерной, без очистки торфа
		с очисткой дробью	без очистки	
Первые ступени экономайзеров, одноступенчатые экономайзеры и др. при $\theta' \leq 400^\circ\text{C}$	0	0	0,002	0
Вторые ступени экономайзеров, одноступенчатые экономайзеры при $\theta' > 400^\circ\text{C}$ и переходные зоны прямоточных котлов	0,002	0,002	0,005	0,003*
Шахматные пучки перегревателей	0,003	0,003	0,005	0,004*

* При сжигании ирша-бороднических углей с полуразомкнутой или разомкнутой схемой пылеприготовления $\Delta\epsilon$ снижается на 0,002.

7-54. При сжигании мазутов все поверхности нагрева рассчитываются по коэффициентам тепловой эффективности.

При работе котлов с избытками воздуха $\alpha_t > 1,03$ коэффициенты тепловой эффективности принимаются по табл. 7-3.

При сжигании мазута с избытками воздуха $\alpha_t \leq 1,03$ и очистке поверхности нагрева дробью коэффициенты эффективности для всех поверхностей нагрева увеличиваются против данных табл. 7-3 на 0,05; при сжигании мазута с малыми избытками воздуха ($\alpha_t \leq 1,03$), но без дробевой очистки коэффициенты эффективности принимаются также по табл. 7-3.

При вводе в мазут твердых присадок (магnezит, доломит) с целью уменьшения коррозии поверхности нагрева коэффициенты эффективности вторых ступеней экономайзера, переходных зон и перегревателей в связи с ростом загрязнений должны быть снижены на 0,05. При вводе жидких присадок коэффициент эффективности для поверхностей нагрева, перечисленных в п. 1, 2

Таблица 7-3

Наименование поверхности нагрева	w_r , м/сек	Коэффициент тепловой эффективности ϕ^*
1. Первые и вторые ступени экономайзеров и переходные зоны с очисткой поверхностей нагрева дробью	4—12	0,7—0,65
	12—20	0,65—0,6
2. Перегреватели, расположенные в конвективной шахте, при очистке дробью, а также коридорные — в горизонтальном газоходе, без очистки; котельные пучки котлов малой мощности, фестоны	4—12	0,65—0,6
	12—20	0,6
3. Экономайзеры котлов малой мощности (при температуре воды на входе 100°C и ниже)	4—12	0,55—0,50

* Большее значение ϕ соответствует меньшей скорости.

табл. 7-3, не изменяется; для экономайзеров котлов малой мощности — повышается на 0,05.

При сжигании мазута коэффициенты тепловой эффективности поверхностей нагрева высоконапорных парогенераторов, имеющих регулярную обдувку, также принимаются по табл. 7-3 в зависимости от скорости газов в газоходе с добавкой 0,05 при $\alpha_t \leq 1,03$.

7-55. При сжигании газа все поверхности нагрева рассчитываются по коэффициентам тепловой эффективности: для первых ступеней экономайзеров и одноступенчатых экономайзеров, в том числе плавниковых и ребристых, при $\theta' \leq 400^\circ\text{C}$ принимают $\psi = 0,9$; для вторых ступеней экономайзеров, перегревателей и других поверхностей нагрева, в том числе плавниковых и ребристых, при $\theta' > 400^\circ\text{C}$ $\psi = 0,85$.

При сжигании газа после мазута коэффициенты тепловой эффективности следует принимать средними между значениями для газа и мазута; при сжигании газа после твердого топлива (без остановки котла на чистку) — по твердому топливу.

7-56. При сжигании смеси топлив коэффициенты загрязнения или эффективности принимаются по более загрязняющему топливу.

7-57. При поперечно-продольном омывании гладкотрубных пучков коэффициенты загрязнения или тепловой эффективности определяются отдельно для поперечно и продольно оmyваемых участков по средним скоростям в каждом из них. Коэффициенты загрязнения или тепловой эффективности продольно оmyваемых участков, а также температура стенки принимаются по тем же данным, что и при поперечном омывании.

При поперечно-продольном омывании ширм коэффициенты загрязнения определяются отдельно для поперечно и продольно оmyваемых участков по средним температурам газов в них. Коэффициенты использования поверхности ширм ξ также определяются по средним скоростям газов в них. Усреднение величин ϵ и ξ производится пропорционально поверхностям нагрева отдельных участков (по рис. 7-3).

7-58. Коэффициенты загрязнения пучков труб с поперечными ребрами при сжигании твердых топлив определяются по рис. 7-11. При сжигании мазута и древесного топлива $\epsilon = 0,02$, газового топлива $\epsilon = 0,005$.

Для типовых чугунных ребристых экономайзеров ЦККБ и ВТИ рекомендуется пользоваться значениями коэффициентов теплопередачи, непосредственно определяемыми по номограмме 20.

7-59. Коэффициенты использования трубчатых воздухоподогревателей без промежуточных трубных досок (при движении газов в трубах), пластинчатых и чугунных ребристых воздухоподогревателей табл. 7-4.

Таблица 7-4

Вид топлива	Коэффициент использования различных воздухоподогревателей			
	трубчатых без промежуточных трубных досок		пластинчатых	чугунных ребристых
	Нижние ступени	Верхние ступени		
АШ, фрезерный торф	0,80	0,75	0,85	0,75
Мазут и древесное топливо	0,80	0,85	0,70	0,70
Все остальные топлива	0,85	0,85	0,85	0,80

Примечание. При сжигании фрезерного торфа применение чугунных ребристых воздухоподогревателей не рекомендуется.

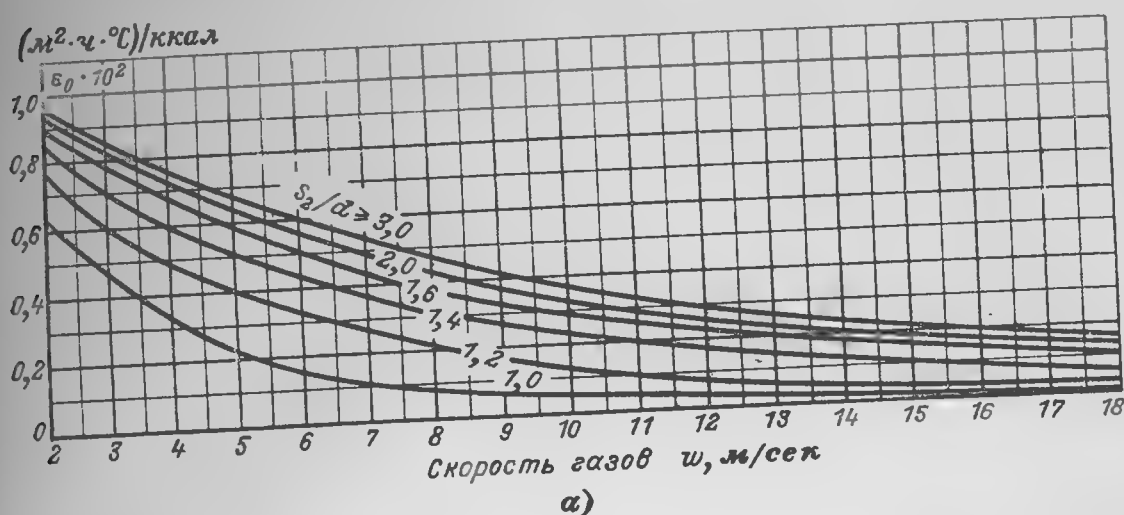
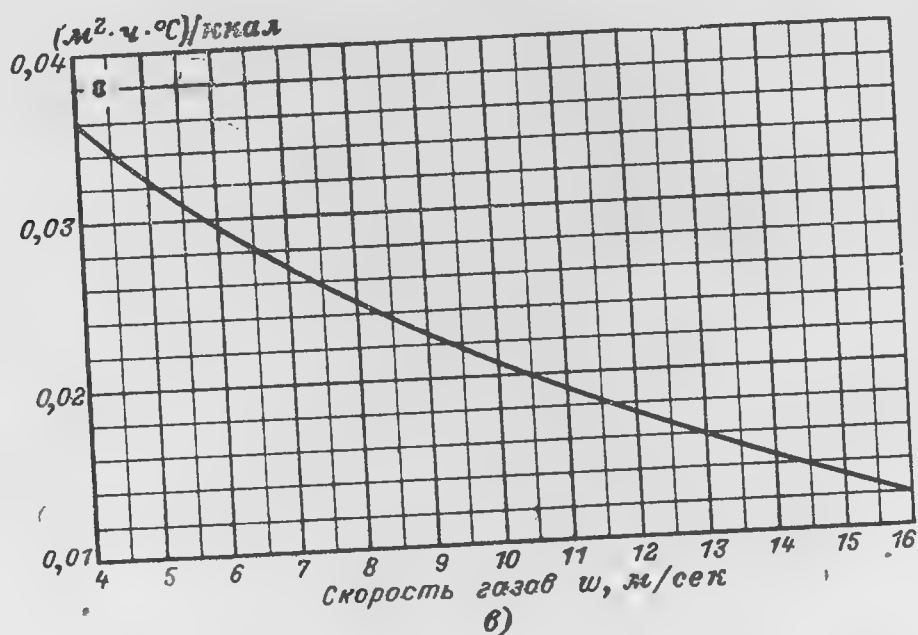
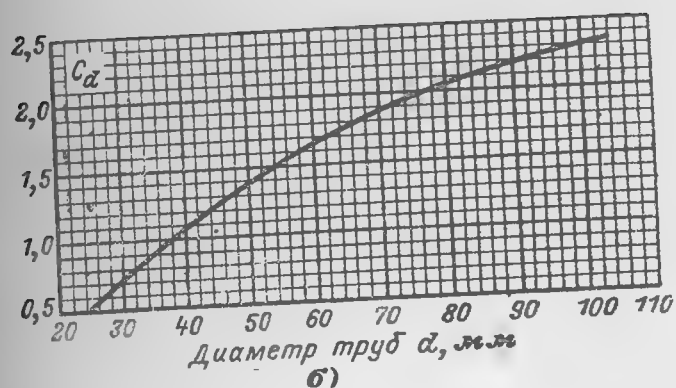


Рис. 7-11. Коэффициенты загрязнения при сжигании твердых топлив.

а и б — шахматных гладкотрубных пучков; в — пучков труб с поперечными ребрами.



Для трубчатых воздухоподогревателей с промежуточными трубными досками между отдельными ходами коэффициент использования снижается на 0,10 при одной доске (в двух- и трехходовых ступенях) и на 0,15 — при двух (в трех-, четырех- и пятиходовых ступенях).

Коэффициент использования регенеративных воздухоподогревателей принимается для всех топлив (твердых, газа и мазута) равным 0,8—0,9; меньшее значение при присосах воздуха в РВВ $\Delta\alpha_{вп}=0,2\div0,25$, большее — при $\Delta\alpha_{вп}=0,15$.

Приведенные выше значения коэффициентов использования воздухоподогревателей всех типов при сжигании мазутов даны для случая, когда в нижней ступени нет влажных отложений (т. е. температура воздуха на входе в воздухоподогреватели не ниже 80 °С при трубчатых и не ниже 60 °С при регенеративных).

При сжигании мазута с коэффициентом избытка воздуха $\alpha_t > 1,03$ и при температуре воздуха перед воздухоподогревателями ниже 80 °С для трубчатых и 60 °С для регенеративных коэффициент использования снижается на 0,1.

Коэффициент использования паровых и водяных калориферов с проволоочным оребрением принимается равным 0,95.

7-В. ТЕМПЕРАТУРНЫЙ НАПОР

7-60. Температурный напор Δt , т. е. усредненная по всей поверхности нагрева разность температур обогревающей и обогреваемой сред, зависит от взаимного направления движения сред. Если температура одной среды в пределах поверхности нагрева не изменяется, то этой зависимости нет.

7-61. Все сказанное ниже о влиянии взаимного направления движения участвующих в теплообмене сред относится к случаю сравнительно небольшого изменения водяного эквивалента¹ каждой из сред в пределах поверхности нагрева. Это условие не выполняется в перегревателях высокого давления (свыше 125 кгс/см²) и с высокой начальной влажностью пара, переходных зонах и «кипящих» экономайзерах. Во всех этих поверхностях водяной эквивалент изменяется за счет изменения агрегатного состояния или теплоемкости.

7-62. Схема включения, при которой обе среды на всем пути движутся параллельно навстречу друг другу, называется противоточной, а в одну сторону — прямоточной. Температурный напор для обеих схем опреде-

¹ Произведение расхода среды на теплоемкость.

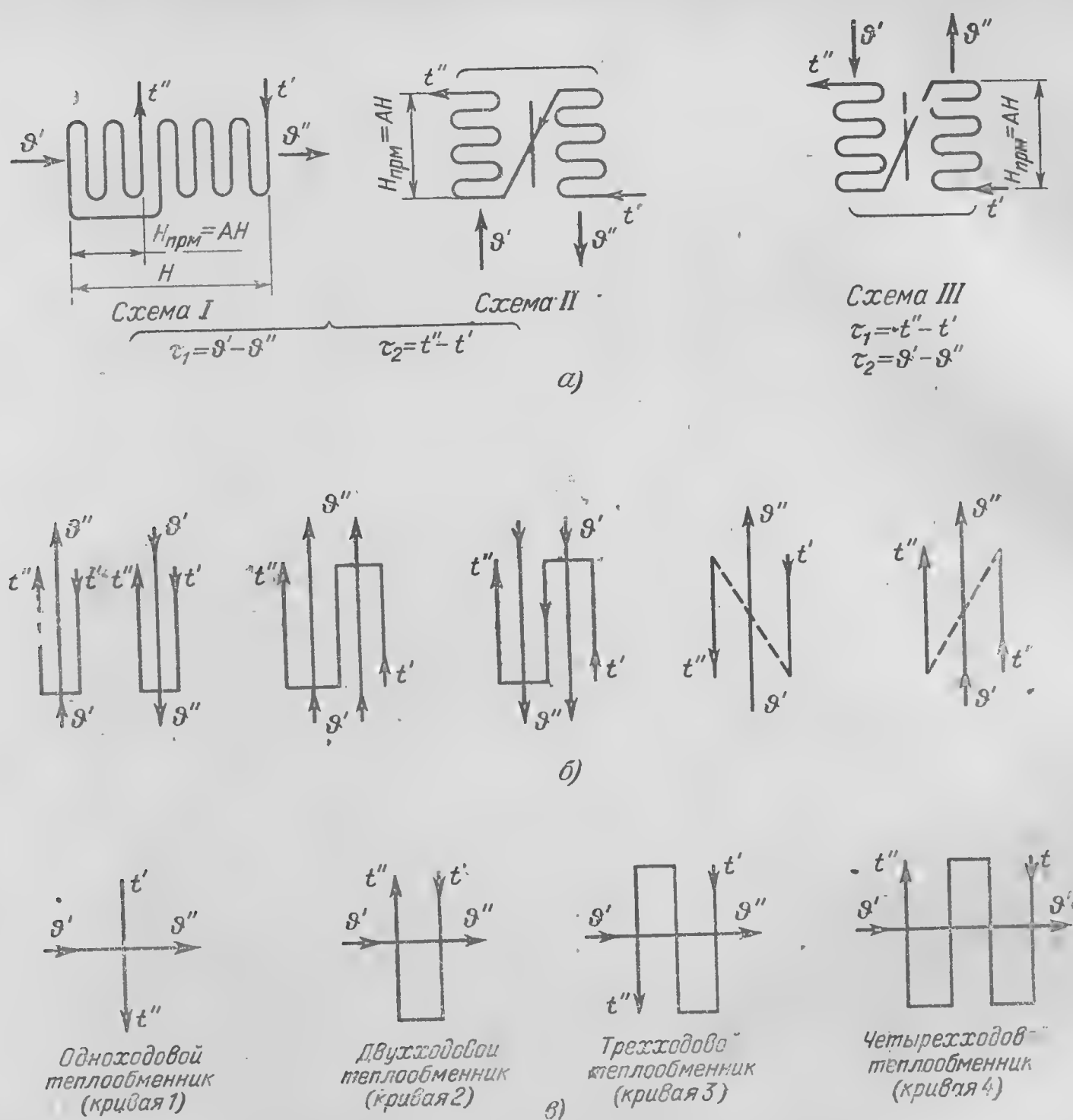


Рис. 7-12. Схемы к расчету температурного напора.

а — с последовательно-смешанным током; б — с параллельно-смешанным; в — с перекрестным.

ляется как среднелогарифмическая разность температур по формуле

$$\Delta t = \frac{\Delta t_0 - \Delta t_n}{2,3 \lg \frac{\Delta t_0}{\Delta t_n}} \cdot ^\circ\text{C}, \quad (7-75)$$

где Δt_0 — разность температур сред в том конце поверхности нагрева, где она больше, $^\circ\text{C}$;

Δt_n — разность температур на другом конце поверхности, $^\circ\text{C}$.

В тех случаях, когда $\Delta t_0/\Delta t_n \leq 1,7$, температурный напор можно с достаточной точностью определять как среднеарифметическую разность температур:

$$\Delta t = \frac{\Delta t_0 + \Delta t_n}{2} = \vartheta - t, \quad ^\circ\text{C}, \quad (7-76)$$

ϑ и t — средние температуры обеих сред, $^\circ\text{C}$.

Для случаев, когда температура одной из сред постоянная, температурный напор также рассчитывается по формуле (7-75) или (7-76).

7-63. Наибольший возможный температурный напор достигается при противотоке, наименьший — при прямотоке, при всех прочих схемах включения получаем промежуточные значения. Поэтому если выполняется условие

$$\Delta t_{\text{при}} \geq 0,92 \Delta t_{\text{прт}} \quad (7-77)$$

($\Delta t_{\text{при}}$ и $\Delta t_{\text{прт}}$ — средние температурные напоры для случаев прямотока и противотока), то температурный напор для любой сложной схемы включения может быть определен по формуле

$$\Delta t = \frac{\Delta t_{\text{при}} + \Delta t_{\text{прт}}}{2}, \quad ^\circ\text{C}. \quad (7-78)$$

7-64. Ниже даются указания по расчету температурного напора для схем, отличных от чистого противотока и прямотока.

Различают схемы с параллельным и перекрестным токами обменивающихся теплом сред. К первым относятся схемы с последовательно- и параллельно-смешанными токами.

Температурные напоры для этих схем определяются по формуле

$$\Delta t = \psi \Delta t_{\text{прт}}, \quad ^\circ\text{C}, \quad (7-79)$$

где ψ — коэффициент пересчета от противоточной схемы к более сложной, определяемый по соответствующим номограммам (см. ниже).

7-65. В схеме с последовательно-смешанным током поверхность нагрева состоит из двух участков, включенных последовательно по обеим средам; при переходе из одного участка в другой изменяется взаимное движение обеих сред.

По этой схеме с разными сочетаниями участков выполняются перегреватели и экономайзеры.

Для схем последовательно-смешанного тока (рис. 7-12) коэффициент ψ определяется по номограмме 29. Эти схемы характеризуются тем, что участки с более низкими температурами обеих сред совмещены (т. е. помещены в одном газоходе); при этом в схемах I и II первая часть (по ходу греющей среды) включена по прямотоку, вторая — по противотоку, а в схеме III — наоборот.

Для пользования номограммой 29 необходимо вычислить безразмерные определяющие параметры:

$$A = \frac{H_{\text{прт}}}{H}; \quad (7-80)$$

$$P = \frac{\tau_2}{\theta' - t'}; \quad (7-81)$$

$$R = \frac{\tau_1}{\tau_2}; \quad (7-82)$$

(H и $H_{\text{прт}}$ — поверхности нагрева — полная и прямоточного участка, м^2 ; τ_1 и τ_2 — полные перепады температур, $^\circ\text{C}$).

Для схем I и II $\tau_1 = \theta' - \theta''$; $\tau_2 = t'' - t'$;
для схемы III $\tau_1 = t'' - t'$; $\tau_2 = \theta' - \theta''$.

Обозначения температур даны на схемах.

Номограмму 29 нельзя применять для расчета поверхностей нагрева, включенных по схемам последовательно-смешанного тока, отличным от указанных на ней. Кривые, приведенные на номограмме, нельзя экстраполировать; при значениях определяющих параметров, выходящих за пределы номограммы, а также при отличающихся схемах последовательно-смешанного тока расчет температурного напора ведется отдельно для противоточного и прямоточного участков.

7-66. В схеме с параллельно-смешанным током (рис. 7-12) поверхность нагрева состоит из нескольких участков, включенных последовательно по одной из сред (многоходовой) и параллельно — по другой (одноходовой). При расчете температурного напора безразлично, является ли одноходовой греющая или обогреваемая среда.

Коэффициент ψ для схем с параллельно-смешанным током определяется по номограмме 30, линии левой ее половины используются для соответствующих схем включения:

кривая 1 — для схем с двумя ходами многоходовой среды, причем оба хода с прямотоком по отношению к одноходовой среде;

кривая 2 — для схем с тремя ходами многоходовой среды, из которых два с прямотоком и один с противотоком по отношению к одноходовой среде;

кривая 3 — для схем с двумя ходами многоходовой среды, из которых один (безразлично, первый или второй) с противотоком, а другой — с прямотоком по отношению к одноходовой среде. Эта кривая исполь-

зуется и для расчета схем с любым четным количеством ходов при равном количестве противоточных и прямоточных;

кривая 4 — для схем с тремя ходами многоходовой среды, из которых два с противотоком и один с прямотоком по отношению к одноходовой среде;

кривая 5 — для схем с двумя ходами многоходовой среды, причем оба хода с противотоком по отношению к одноходовой среде.

Коэффициент ψ для схем с нечетным количеством ходов, большим трех, принимается равным полусумме значений ψ , определенных по кривым 3 и 2 или 3 и 4, в зависимости от того, каких ходов больше — прямоточных или противоточных.

Для пользования номограммой 30 необходимо вычислить безразмерные параметры:

$$P = \frac{\tau_m}{\theta' - t'}; \quad (7-83)$$

$$R = \frac{\tau_6}{\tau_m}; \quad (7-84)$$

где θ' и t' — начальные температуры греющей и обогреваемой сред, $^\circ\text{C}$;

τ_6 — полный перепад температур той среды, где он больше, чем перепад температур второй среды τ_m , $^\circ\text{C}$.

7-67. Номограмма 30 построена для условия полного перемешивания одноходовой среды. Установка продольных перегородок, разделяющих одноходовую среду на параллельно текущие несмешивающиеся потоки, несколько увеличивает температурный напор. Но при $\psi > 0,8$ это увеличение незначительно, поэтому номограммой можно пользоваться для всех случаев независимо от наличия перегородки.

Номограмма 30 построена для условий равенства поверхностей нагрева различных ходов. С достаточной точностью ею можно пользоваться и для случаев, когда

$$0,7 \leq \frac{H_{\text{прт}}}{H_{\text{прм}}} \leq 1,5$$

($H_{\text{прт}}$ и $H_{\text{прм}}$ — поверхности нагрева противоточной и прямоточной частей¹, м^2).

7-68. При схеме с перекрестным током² направления потоков обеих сред взаимно перекрещиваются. Температурный напор для перекрестного тока зависит в основном от количества ходов и общего взаимного направления потоков сред (прямоток или противоток). Схемы перекрестного тока с различным числом ходов показаны на рис. 7-12.

Условия перемешивания в пределах ходов и между ними при $\psi > 0,85$ слабо влияют на величину температурного напора. Поскольку применение поверхностей

¹ В случае, если $B = H_{\text{прт}}/H_{\text{прм}}$ выходит за пределы, приведенные в неравенстве, коэффициент ψ для схем с двумя ходами многоходовой среды (один противоточный и другой прямоточный) определяется по формуле:

$$\psi = \frac{1 - P}{(R - 1) \lg \frac{2 - P(R + 1 - \mu)}{2 - P(R + 1 + \mu)}}$$

$$\mu = \sqrt{R^2 + 1 - 2R \left(\frac{2B}{B + 1} - 1 \right)}$$

² Схемы, у которых число ходов не превышает четырех; при большем числе ходов они рассматриваются как противоточные или прямоточные.

с $\psi < 0,8 \div 0,85$ не рекомендуется, условия перемешивания при определении температурного напора для перекрестного тока при построении номограммы приняты для всех случаев расчета элементов котельных агрегатов одинаковые: обе среды перемешиваются только между ходами. Такое упрощение вполне допустимо, так как при движении воздуха или газов в межтрубном пространстве перемешивание в перпендикулярной потоку плоскости очень незначительное.

Коэффициент ψ определяется по номограмме 31, линии левой ее половины используются для различного числа ходов:

кривая 1 — для однократно, прямая 2 — для двукратно, кривая 3 — для трехкратно, кривая 4 — для четырехкратно перекрестного тока.

Для пользования номограммой предварительно вычисляются те же безразмерные параметры, что при параллельно-смешанном токе:

$$P = \frac{\tau_m}{\theta - t'}; \quad R = \frac{\tau_6}{\tau_m}.$$

Как видно из обозначения величин, входящих в определяющие параметры, нет необходимости различать условия перемешивания греющей и обогреваемой сред.

7-69. Номограмма 31 пригодна для расчета схем с многократно перекрестным током только при общем противоточном взаимном направлении потоков. При общем прямоточном направлении по найденным значениям параметров P и R рассчитывается степень нагрева для каждого хода теплообменника:

$$P_1 = \frac{1 - [1 - P(R + 1)]^{1/n}}{R + 1}, \quad (7-85)$$

где n — число ходов в рассчитываемом теплообменнике.

По величинам P_1 и R при помощи кривой 1 номограммы 31 определяется коэффициент ψ для всего теплообменника.

7-70. Линии номограммы 31, предназначенные для определения температурного напора при многократно перекрестном токе, построены для случая равенства поверхностей нагрева различных ходов. Однако, когда поверхности нагрева отдельных ходов разнятся не более чем на 20% и при этом определенный по номограмме для всей поверхности нагрева коэффициент $\psi \geq 0,90$, рекомендуется также пользоваться этой номограммой.

При большем расхождении поверхностей нагрева разных ходов или меньшем значении коэффициента ψ расчет температурного напора ведется раздельно по участкам (п. 7-71).

Участки выделяются таким образом, чтобы поверхности ходов в пределах каждого были одинаковы или разнились не более чем на 20%. После этого для каждого участка определяются температурные напоры по соответствующей кривой номограммы 31.

7-71. В тех случаях, когда схема включения поверхности нагрева отличается от рассмотренных ранее и не выполняется условие $\Delta t_{\text{прм}} \geq 0,92 \Delta t_{\text{прт}}$, расчет температурного напора производится по отдельным участкам поверхности нагрева. При этом так же, как и при выводе среднего температурного напора для разобранных схем, коэффициент теплопередачи в пределах поверхности нагрева принимается постоянным. Задаваясь значением промежуточной температуры одной из сред, следует определить из уравнения теплового баланса соответствующую ей температуру второй среды и по ней рассчитать температурные напоры на участках. Правильность подбора промежуточных температур проверяется выполнением условия:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{\Delta t_1 H_1}{\Delta t_2 H_2}, \quad (7-86)$$

где Q_1 и Q_2 — тепловосприятие каждого участка на 1 кг одной из сред, определяемое с учетом принятой промежуточной температуры, ккал/кг. Если участок воспринимает излучение из топки, то в формулу (7-86) подставляется величина Q без учета последнего;

H и Δt — соответственно поверхность нагрева и температурный напор каждого участка.

Средний для всей поверхности нагрева температурный напор находится по формуле

$$\Delta t_{\text{ср}} = \frac{\Delta t_1 H_1 + \Delta t_2 H_2}{H_1 + H_2} \cdot ^\circ\text{C}. \quad (7-87)$$

7-72. В случаях значительных изменений теплоемкости одной из сред (пара при высоком давлении, см. п. 7-61), а также изменения агрегатного состояния среды в пределах рассчитываемой поверхности нагрева (переход от подогрева к испарению и от испарения к перегреву) непосредственное определение температурного напора для всей поверхности нагрева по конечным температурам приводит к значительной погрешности. Общим в этом случае является расчет температурных напоров для отдельных участков, на которых суммарная теплоемкость принимается постоянной с последующим усреднением этих напоров по формуле

$$\Delta t_{\text{ср}} = \frac{Q_1 + Q_2 + \dots}{\frac{Q_1}{\Delta t_1} + \frac{Q_2}{\Delta t_2} + \dots} \cdot ^\circ\text{C}, \quad (7-88)$$

где Q — тепловосприятие участков на 1 кг одной из сред, ккал/кг;

Δt — температурные напоры на участках, $^\circ\text{C}$.

В некоторых случаях при переменной теплоемкости одной из сред можно пользоваться упрощенными способами расчета температурного напора.

7-73. Для «кипящих» экономайзеров, включенных по противоточку, при паросодержании среды на выходе $x \leq 30\%$, достаточная точность определения температурного напора получается при подстановке вместо конечной температуры воды условной $t_{\text{усл}}$:

$$t_{\text{усл}} = t_{\text{кип}} + \frac{\Delta i_{\text{п}}}{2} \cdot ^\circ\text{C}, \quad (7-89)$$

где $\Delta i_{\text{п}} = i'' - i_{\text{кип}}$ — изменение энтальпии в процессе парообразования, ккал/кг;

i'' — энтальпия среды на выходе из экономайзера, ккал/кг;

$i_{\text{кип}}$ — энтальпия кипящей воды при давлении в барабане, ккал/кг;

$t_{\text{кип}}$ — температура кипения, $^\circ\text{C}$.

Применимость такого способа расчета ограничена наименьшими значениями разности температур газов и воды на «холодном» конце экономайзера или отдельно рассчитываемой его ступени при заданных температурах воды на входе в экономайзер и давлении в котле. При разности температур на «холодном» конце меньшей, чем в приведенной ниже таблице, расчет температурного напора следует вести по участкам.

Давление в котле p , кгс/см ²	≤ 14		> 14	
Температура воды при входе в ступень экономайзера t' , $^\circ\text{C}$	≥ 20	100—139	140—179	≥ 180
Наименьшая разность температур, $^\circ\text{C}$. .	≥ 100	≥ 150	≥ 110	≥ 80

7-74. Перегреватели или отдельные их ступени с высокой начальной влажностью пара (после пароохлади-

теля) при условии

$$\frac{(1-x)r}{i_{пе} - i_x} \leq 0,12 \quad (7-90)$$

следует рассчитывать без учета начальной влажности пара.

В уравнении (7-90) r — теплота испарения, ккал/кг; $(1-x)$ — влажность поступающего в перегреватель пара; $i_{пе}$ и i_x — энтальпии перегретого и влажного пара, ккал/кг.

Если перегреватель двухступенчатый и температурный напор первой ступени рассчитывается отдельно, выполнение условия (7-90) следует проверять для этой ступени. При несоблюдении условия (7-90) температурные напоры участков испарения и перегрева рассчитываются отдельно и усредняются по формуле (7-88).

Если условие (7-90) не выполняется в перегревателях, включенных по схеме последовательно-смешанного тока, расчет по участкам производится следующим образом.

Часть прямооточной поверхности (см. п. 7-65) на участке перегрева приближенно определяется по выражению

$$A = \frac{N_{прм}}{H \left[1 - \frac{(1-x)r}{i_{пе} - i_x} \right]} \quad (7-91)$$

(H — поверхность нагрева всего перегревателя, m^2).

Далее по конечным температурам газов и пара для участка перегрева определяют параметры P , R и температурный напор при противотоке. По номограмме 29

находят коэффициент ψ и температурный напор для участка перегрева.

Если параметры P и R для участка перегрева выходят за пределы кривых номограммы 29, расчет температурного напора ведется отдельно для обоих ходов по промежуточным температурам газов и пара. После выбора промежуточных температур рассчитывают по формуле (7-87) средний температурный напор для первого (по пару) хода перегревателя и по формуле (7-86) проверяют правильность выбора температур между ходами. В случае невыполнения условия (7-86) эти температуры уточняются.

Усреднение температурных напоров для участков перегрева и испарения производится по формуле (7-88).

Расчет температурного напора в перегревателе с высокой начальной влажностью пара, включенном по схеме параллельно-смешанного тока, производится аналогичным путем. Условно принимается, что газоход разделен между ходами продольной перегородкой и отношение расходов газов по частям газохода равно отношению поверхностей нагрева соответствующих ходов. Коэффициенты теплопередачи для различных ходов принимаются одинаковыми. Задаются температурой пара между ходами, по ней и известным температурам пара на входе и выходе из перегревателя, а также температуре газов перед поверхностью из уравнения баланса определяется температура газов за каждым ходом.

После этого проверяется по уравнению (7-86) правильность принятого значения промежуточной температуры пара. Температурный напор для хода, состоящего из испарительной и перегревательной частей, рассчитывается по формуле (7-88).

ГЛАВА ВОСЬМАЯ

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО МЕТОДИКЕ РАСЧЕТА КОТЕЛЬНОГО АГРЕГАТА

8-А. ПОРЯДОК И ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ РАСЧЕТА

8-01. При конструктивном расчете котельного агрегата или отдельных его элементов по заданным температурам дымовых газов и обогреваемой среды определяется тепловосприятие каждого элемента, после чего рассчитываются температурный напор и коэффициент теплопередачи, а из уравнения теплообмена (п. 7-01) находится величина поверхности нагрева.

8-02. Поверочный расчет котельного агрегата или отдельных его элементов является более общим случаем, так как при проектировании новых агрегатов поверхности нагрева отдельных элементов определяются соображениями компоновки, и последующим поверочным расчетом уточняется их тепловосприятие.

При поверочном расчете всего агрегата неизвестны не только промежуточные температуры дымовых газов и внутренней среды, но и конечные температуры уходящих газов, подогрева воздуха и иногда перегрева пара. Для выполнения расчета приходится задаваться этими температурами и уточнять их путем последовательных приближений.

При поверочном расчете отдельных конвективных поверхностей обычно задаются температура и энтальпия каждой из сред только на одном конце поверхности нагрева. Для определения энтальпии обеих сред на втором конце приходится задаваться величиной тепловосприятия и уточнять ее путем последовательных приближений.

Так как выполнение последовательных приближений сильно усложняет расчет, ниже даются некоторые рекомендации о порядке и последовательности расчета отдельных конвективных поверхностей нагрева и всего агрегата в целом применительно к более сложному поверочному расчету.

8-03. Расчет котельного агрегата должен обеспечивать необходимую точность определения основных параметров, в первую очередь температур перегретого пара и уходящих газов.

При оценке достижимой точности расчета следует учитывать, что некоторые расчетные величины, например коэффициенты теплопередачи, определяются со сравнительно большими погрешностями. Поэтому нет необходимости выполнять расчет с более высокой точностью последовательных приближений, чем рекомендовано ниже, так как это лишь увеличивает объем вычислительной работы.

8-04. При поверочном расчете конвективной поверхности предварительно оценивают конечную температуру и энтальпию одной из сред и по уравнению теплового баланса (п. 7-02) определяют по принятой температуре тепловосприятие поверхности и конечную энтальпию второй среды. После этого рассчитывают коэффициент теплопередачи и температурный напор и по уравнению теплообмена (п. 7-01) определяют величину тепловосприятия поверхности нагрева, отнесенного к 1 кг (1 m^3) топлива.

Если полученное из уравнения теплообмена значение тепловосприятия Q_t отличается от определенного

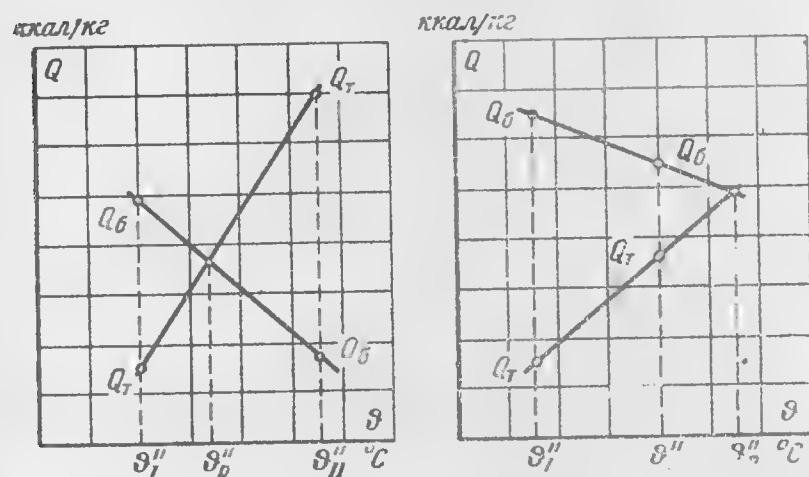


Рис. 8-1. Графическое определение расчетной температуры t''_p .

по уравнению баланса Q_6 не более чем на 2% (в отдельных случаях, указанных ниже, и больше), расчет поверхности не уточняется. Окончательными считаются температура и тепловосприятие, вошедшие в уравнение баланса.

При большом расхождении Q_7 и Q_6 принимают новое значение конечной температуры и повторяют расчет.

Если при первом приближении величина Q_7 оказалась больше Q_6 , то значение конечной температуры для второго приближения принимается таким, чтобы разница между температурами дымовых газов на входе и выходе была больше, чем при первом приближении, и наоборот.

Для второго приближения целесообразно выбирать значение температуры, отличающееся от принятого при первом приближении не более чем на 50 °C. В этом случае коэффициент теплопередачи не пересчитывается. Следует пересчитать только температурный напор и тепловосприятие излучением $Q_{\text{л}}$ и заново решить уравнение баланса и теплообмена.

Если после второго приближения расхождение Q_7 и Q_6 окажется больше указанного предела, истинную температуру находят при помощи линейной интерполяции.

При аналитической интерполяции расчетное значение искомой конечной температуры определяется из равенства:

$$t''_p = t''_{\text{II}} + (t''_{\text{II}} - t''_{\text{I}}) \frac{(Q_6 - Q_7)_{\text{II}}}{(Q_6 - Q_7)_{\text{I}} - (Q_6 - Q_7)_{\text{II}}}; \quad (8-01)$$

индексы I и II относятся соответственно к первому и второму приближениям. Интерполяция может быть проведена графически, порядок определения искомого значения t''_p ясен из рис. 8-1.

Если найденное путем интерполяции расчетное значение температуры отличается от того, по которому определялся коэффициент теплопередачи, не более чем на 50 °C, то для завершения расчета необходимо по этой температуре уточнить только тепловосприятие и искомую температуру тепловоспринимающей среды из уравнения баланса. При большом расхождении необходимо по этой температуре повторить расчет, включая определение коэффициента теплопередачи и температурного напора.

8-05. Расчет агрегата в целом при одноступенчатой компоновке хвостовых поверхностей нагрева рекомендуется вести в следующей последовательности.

Оцениваются температуры уходящих газов и подогрева воздуха, определяются тепловые потери, к. п. д. агрегата и расход топлива.

После этого рассчитываются температура газов на выходе из топki и методом последовательных приближений температуры за последующими поверхностями нагрева, до экономайзера.

Расчет тепловосприятия экономайзера производится также путем последовательных приближений. В этом случае известны температура газов на входе в экономайзер, определенная из расчета предыдущей поверхности нагрева, и температура воды на входе в экономайзер. Рассчитывается температура газов и воды за экономайзером.

При расчете воздухоподогревателя известны температура газов на входе (из расчета экономайзера) и температура воздуха, подаваемого в агрегат. Путем последовательных приближений определяются температуры уходящих газов и горячего воздуха.

Если полученная температура уходящих газов отличается от принятой в начале расчета не более чем на ± 10 °C, а температура горячего воздуха — не более чем на ± 40 °C, расчет теплообмена в котле считается законченным и найденные температуры окончательными, так как следующее приближение может уточнить их только на 2—3 °C. (При ошибке в оценке температуры подогретого воздуха до 40 °C температура на выходе из топki изменится не более чем на ± 10 °C, что практически не скажется на точности расчета последующих поверхностей нагрева.)

Уточняют с учетом полученного значения температуры уходящих газов потерю тепла с уходящими газами, к. п. д. агрегата и расход топлива, по расчетному значению температуры горячего воздуха и полученной ранее температуре газов на выходе из топki (по формулам гл. 6) — тепловосприятие лучевоспринимающих поверхностей, отнесенное к 1 кг топлива.

Затем определяется расчетная невязка теплового баланса агрегата:

$$\Delta Q = Q_{\text{пр}} \eta_{\text{к.а}} - [Q_{\text{л}} + Q_{\text{к}} + Q_{\text{п.з}} + Q_{\text{п.е}} + Q_{\text{вт}} + Q_{\text{эк}}] \left(1 - \frac{q_4}{100}\right), \text{ ккал/кг}, \quad (8-02)$$

где $Q_{\text{л}}$, $Q_{\text{к}}$, $Q_{\text{п.з}}$, $Q_{\text{п.е}}$, $Q_{\text{вт}}$, $Q_{\text{эк}}$ — количества тепла, воспринятые лучевоспринимающими поверхностями топki, котельными пучками, переходными зонами прямоточных котлов, первичным и вторичным перегревателями (кроме радиационных) и экономайзером; в формулу подставляются значения, определенные из уравнений баланса.

При правильном выполнении расчета величина невязки не должна превышать 0,5% $Q_{\text{пр}}$.

Если температура уходящих газов отличается от принятой в начале расчета более чем на ± 10 °C или расхождение между принятым и расчетным значениями температуры горячего воздуха больше ± 40 °C, расчет необходимо повторить. Для этого задаются новыми значениями температур уходящих газов и горячего воздуха, равными найденным из первого расчета или близкими к ним, в зависимости от полученного при первом расчете расхождения этих величин.

Если расхождение значений температуры уходящих газов, принятых при первом и втором приближениях, приводит к изменению расчетного расхода топлива не более чем на 2%, коэффициенты теплопередачи конвективных поверхностей нагрева при втором приближении не пересчитываются: уточняются только температура, температурные напоры и тепловосприятие по всему тракту.

8-06. Порядок расчета при двухступенчатой компоновке хвостовых поверхностей нагрева в основном та-

кой же, как указано в п. 8-05. Ниже изложены необходимые изменения его.

После расчета всех поверхностей нагрева, расположенных по ходу газов до второй¹ ступени экономайзера, известна только температура газов на входе в эту ступень. Нужно задаться значением энтальпии воды на выходе из экономайзера, для чего составляется следующее уравнение:

$$i''_{\text{вк}} \approx \frac{D}{D_{\text{вк}}} (i_{\text{пе}} + \Delta i_{\text{п.о}}) - \frac{B_p}{D_{\text{вк}}} (Q_{\text{п}} + Q_{\text{к}} + Q_{\text{п.в}} + Q_{\text{пе}} + Q_{\text{вт}}), \text{ ккал/кг}, \quad (8-03)$$

где $i_{\text{пе}}$ — энтальпия перегретого пара перед главной паровой задвижкой, ккал/кг; $D_{\text{вк}}$ — расход воды через экономайзер, кг/ч; $\Delta i_{\text{п.о}}$ — тепловосприятие пароохладителя с впрыском собственного конденсата или поверхности при возврате охлаждающей воды в экономайзер, ккал/кг. Если охлаждающая вода из пароохладителя взводится в пароводяной тракт за экономайзером, то в формуле (8-03) $\Delta i_{\text{п.о}}$ не учитывается. Остальные обозначения те же, что в п. 8-05.

По найденной величине $i''_{\text{вк}}$ определяется температура воды на выходе из экономайзера. По ней и известной температуре газов на входе рассчитывается методом последовательных приближений вторая ступень экономайзера.

Температура газов на входе во вторую ступень воздухоподогревателя известна из расчета предыдущей поверхности нагрева. Эта ступень рассчитывается по значению температуры горячего воздуха, принятому в расчете топki.

Первая ступень экономайзера рассчитывается по известной из расчета предыдущей поверхности нагрева температуре газов и заданной температуре воды на входе в ступень. Путем последовательных приближений определяются температуры газов и воды на выходе из рассчитываемой ступени экономайзера; в общем случае найденная температура на выходе из первой ступени может не совпадать с рассчитанной температурой воды на входе во вторую ступень.

Расчет первой ступени воздухоподогревателя ведется по известной из расчета предыдущей поверхности температуре газов и заданной температуре воздуха на входе в воздухоподогреватель. Путем последовательных приближений определяются температуры уходящих газов и горячего воздуха на выходе из рассчитываемой ступени. В общем случае эти температуры могут не совпадать с принятыми в начале расчета температурами уходящих газов и подогретого воздуха на входе во вторую ступень воздухоподогревателя.

Если полученная температура уходящих газов отличается от принятой не более чем на $\pm 10^\circ\text{C}$ и невязка между промежуточными значениями температур воды и воздуха, определенные из расчета обеих ступеней экономайзера и воздухоподогревателя, не превышают $\pm 10^\circ\text{C}$ каждая, расчет теплообмена в котле считается законченным. Уточняются балансовые величины и определяется невязка баланса согласно указаниям п. 8-05.

Если полученная температура уходящих газов отличается от принятой не более чем на $\pm 10^\circ\text{C}$, но люба из невязок между промежуточными значениями температур воды и воздуха превышает $\pm 10^\circ\text{C}$, необходимо повторить расчет экономайзера и воздухоподогревателя. При этом в отличие от предыдущего расчета вторые ступени экономайзера и воздухоподогревателя рассчитываются по принятым температурам воды и воздуха на входе, которые принимаются равными темпе-

ратурам на выходе из первых ступеней, определенным при первом приближении.

При отклонении полученной в результате расчета температуры уходящих газов от принятой, большем $\pm 10^\circ\text{C}$, следует повторить расчет всего агрегата. Рекомендуется температуру подогрева воздуха принимать близкой значению, которое получилось бы при первом приближении, если к температуре воздуха на выходе из первой ступени воздухоподогревателя прибавить расчетный перепад температур воздуха во второй ступени.

Такая последовательность позволяет, как правило, при выполнении расчета котельного агрегата ограничиться двумя приближениями.

8-07. При расчете тепловосприятия различных дополнительных поверхностей нагрева, включенных параллельно или последовательно (по ходу газов) с основными поверхностями нагрева (настенные экраны в области ширмового или конвективного перегревателя, а также в поворотной камере, подвесные трубы перегревателя, отводящие трубы экономайзеров на стенах или потолке газоходов и т. п.), рекомендуются следующие упрощения.

Коэффициент теплопередачи для дополнительной поверхности нагрева принимается таким же, как для основной, независимо от их конструктивного выполнения; тепловосприятие оценивается предварительно и прибавляется к величине тепловосприятия основной поверхности при определении конечной температуры газов. Принятая величина проверяется с учетом значения температурного напора в дополнительной поверхности нагрева.

Температурный напор для дополнительной поверхности, расположенной параллельно (по ходу газов) основной, принимается равным разности средних температур газов в газоходе и теплоносителя в дополнительной поверхности, а для расположенной последовательно (по ходу газов) — равным разности температур газов на выходе из газохода и средней температуры теплоносителя в дополнительной поверхности.

Для дополнительной поверхности допускается расхождение принятой и определенной величин тепловосприятия до $\pm 10\%$.

Поверхность нагрева труб, расположенных у обмуровки, равна поверхности стены, умноженной на угловой коэффициент χ , определяемый по номограмме 1 для настенных экранов.

Если дополнительная поверхность нагрева составляет не более 5% основной, она отдельно не рассчитывается, а включается в поверхность трубного пучка, последовательно соединенного с нею по внутренней среде.

8-08. Рекомендуется следующий порядок расположения расчетных данных:

- 1) исходные данные в соответствии с заданием;
- 2) избытки воздуха по газоходам;
- 3) объемы, объемные доли трехатомных газов и энтальпии газов и воздуха;
- 4) тепловой баланс агрегата и определение расхода топлива;
- 5) расчет газоходов последовательно по ходу газов: от топki до первой ступени воздухоподогревателя;
- 6) сводная таблица основных данных расчета агрегата.

8-Б. РАСЧЕТ ТОПКИ

8-09. При конструктивном расчете мощных котельных агрегатов объем топki определяется размером поверхности нагрева, обеспечивающей заданную температуру газов на выходе из топki — в сечении перед ширмовым пакетом, а при отсутствии ширма — перед фестоном (конвективным пучком). Указанная температура выбирается при условии обеспечения отсутствия шлако-

¹ Порядок ступеней во всех случаях определяется по ходу обогреваемой среды.

вания по рекомендациям приложения II. Тепловое напряжение объема топki q_v не должно быть выше допустимого по условиям горения, что проверяется по табл. XVII—XXI. При определении q_v объем ширм в верхней части топki при шаге $s_1 \geq 700$ мм включается в объем топki. Размеры топочной камеры выбираются в соответствии с рекомендациями приложения II.

Для котельных агрегатов малой мощности объем топki при конструктивном расчете находится по допустимому теплонапряжению q_v . Далее определяется температура газов на выходе из топki (камеры догорания) θ''_T и сравнивается с допустимой, или по заданному значению θ''_T рассчитываются размеры $F_{ст}$ и $\psi_{ср}$. Последнее характерно для совсем малых топок, у которых по условиям работы не требуется сплошное экранирование стен.

8-10. Расчет температуры газов на выходе из однокамерной или полуоткрытой топki при заданных конструктивных характеристиках топki производится по формуле (6-30) или номограмме 7.

Для этого по чертежам определяются активный объем и поверхность стен топki (по пп. 6-01, 6-02), находится коэффициент M (п. 6-13, 6-14), степень черноты факела a_ϕ (по § 6-Б), степень черноты топki (по номограмме 6), коэффициент тепловой эффективности экранов (по п. 6-20). Средняя суммарная теплоемкость продуктов сгорания $V_{ср}$ рассчитывается по формуле (6-32). При определении a_ϕ и $V_{ср}$ предварительно задаются значением температуры на выходе из топki. Если полученная из номограммы 7 или формулы (6-30) выходная температура газов отличается от принятой более чем на $\pm 100^\circ\text{C}$, следует уточнить величины $V_{ср}$ и a_ϕ по известному из расчета значению температуры газов и повторить расчет.

Поверхность стен топki $F_{ст}$ при заданной температуре на выходе θ''_T может быть найдена по номограмме 7. Следует задаться величиной среднего коэффициента эффективности экранов и коэффициента M и определить степень черноты факела. После расчета поверхности стен и уточнения размеров топki необходимо проверить соответствие ориентировочно принятого и полученного в результате расчета значений коэффициента тепловой эффективности; расхождение их не должно превышать $\pm 5\%$ величины ψ .

8-11. Расчет двухкамерной топki производится раздельно по камерам. Безразмерная температура в конце первой камеры рассчитывается по формуле (6-64). Для этого по чертежам определяются объем топki и лучевоспринимающая поверхность и по формуле (6-62) вычисляется Bo^* . Эффективная степень черноты факела находится по § 6-Б, а степень черноты камеры — по формуле (6-58). В циклонных топках и вертикальных предтопках учитывается тепло, переданное конвекцией Q_k (формула 6-61). Температура пленки жидкого шлака $t_{пл}$ рассчитывается по п. 6-28 при помощи номограммы 8.

Для определения $V_{ср}$ и a_ϕ необходимо задаться температурой на выходе из топki θ''_T . Расчет повторяется, если полученная температура отличается от предварительно принятой более чем на 100°C .

Для определения $t_{пл}$ необходимо также задаться θ''_T . Расчет повторяется при расхождении с предварительно принятой величиной более чем на 50°C .

8-12. Количество тепла, переданное в шлакоулавливающем пучке, расположенном между камерами сгорания и охлаждения, определяется по п. 6-34.

По формуле (6-53) рассчитываются энтальпия газов на входе в камеру охлаждения и начальная температура. Температура газов на выходе из камеры определяется по номограмме 10. Предварительно по § 6-Б находится a_ϕ , вычисляются степень черноты камеры a_k по формуле (6-58), Bo^* и θ_z . Для определения

a_ϕ , $V_{ср}$ и T_z необходимо предварительно задаться температурой газов на выходе из камеры θ''_T . По уравнению (6-48) находят предварительное значение $Q_{л}$ и по формуле (6-54) T_z . Если θ''_T отличается от предварительно принятого более чем на 100°C или $Q_{л}$ более чем на 10% , расчет повторяется.

8-13. После определения суммарного тепловосприятия топki в случае необходимости производится разбиение его по участкам в соответствии с разделением поверхностей нагрева по ходу пара. Обычно нужно знать распределение тепловосприятия по высоте топki. Для этого следует произвести позонный расчет топki в соответствии с указаниями § 6-Д.

В тех случаях, когда позонный расчет не производится, тепловая нагрузка участка стен топki определяется по формуле (6-74), а значение коэффициента распределения тепловой нагрузки по высоте топki выбирается по номограмме 11.

8-В. РАСЧЕТ ПЕРЕГРЕВАТЕЛЯ

8-14. Перегреватели современных мощных котлов выполняются из частей с различным конструктивным оформлением: радиационные, настенные, ширмовые и конвективные, которые в свою очередь подразделяются на ступени.

Порядок расчета конвективных и ширмовых перегревателей одинаков. Суммарное тепловосприятие перегревателя при конструктивном расчете определяется в соответствии с уравнением (7-03) по заданной температуре перегрева и принятому тепловосприятию пароохладителя (см. п. 8-26), а также количеству тепла, переданному в теплообменнике вторичному пару, по формуле:

$$Q_{пе} = \frac{D}{B_p} (i'' - i') - Q_{л} + Q_{т}, \text{ ккал/кг}, \quad (8-04)$$

где $Q_{т}$ — количество тепла, переданное в теплообменнике первичным паром вторичному на 1 кг топлива, ккал/кг.

При поверочном расчете, задавшись температурой газов на выходе, по уравнению (7-02) определяют тепло, отданное газами в перегревателе, а из (8-04) — тепловосприятие пароохладителя (или температуру перегрева).

Тепло, полученное излучением из топki ширмовым перегревателем, определяется по уравнению (7-06). Тепло, полученное излучением из топki конвективным перегревателем, зависит от вида поверхности, отделяющей топку от перегревателя. Если между топкой и перегревателем расположен лучок или фестон, $Q_{л}$ определяется с учетом тепла, воспринятого им, по формуле (8-10).

Если между топкой и конвективным перегревателем расположен ширмовый перегреватель, $Q_{л}$ вычисляется по уравнению (7-07).

При определении $Q_{л}$ во всех случаях следует учитывать коэффициент распределения тепла по высоте топочной камеры η_v .

При наличии отбора из барабана котла насыщенного пара в формулу (7-03) подставляется расход только перегретого пара $D_{пе}$; для котлов современных конструкций влажность насыщенного пара принимается равной нулю и при отсутствии предвключенного поверхностного пароохладителя энтальпия пара $i'_{пе}$ принимается равной энтальпии сухого насыщенного пара $i_{н.п.}$

8-15. При расчете перегревателя по частям тепловосприятие рассчитываемой части определяется по заданным или принятым температурам пара на ее концах. Для определения промежуточного давления на границе между частями предварительно производится его приближенная оценка, исходя из значений, заданных на концах перегревателя; расчет уточняется в том случае,

если последующий расчет покажет, что принятые давления в промежуточных сечениях отличаются от расчетных более чем на 3%. При наличии пароохладителей расчет на номинальную нагрузку ведется с учетом их включения. Дополнительные указания по расчету перегревателя при установке различных пароохладителей, а также при подогреве вторичного пара острым приводятся в п. 8-26.

8-16. При наличии в газоходе перегревателя другой, относительно небольшой поверхности нагрева (например, потолочных труб), которую в соответствии с указаниями п. 8-07 следует рассчитывать отдельно, из величины $Q_{\text{пе}}$, определяемой по уравнению (7-02), вычитается предварительно принятое тепловосприятие этой поверхности.

8-17. Температурный напор подсчитывается в зависимости от конструктивного выполнения перегревателя и взаимного направления потоков газов и пара в соответствии с указаниями § 7-В.

8-18. Коэффициент теплоотдачи конвекцией α_k при поперечном омывании труб газами определяется по номограммам 12 или 13 в зависимости от типа пучка (коридорный или шахматный) при среднеарифметическом значении температуры газов и средней скорости их в пучке.

Для участков продольного омывания α_k определяется по номограмме 14; предварительно по формуле (7-43а) рассчитывается эквивалентный диаметр газохода. Примеры условной разбивки смешанно оmyваемых пучков на продольно и поперечно оmyваемые участки приведены на рис. 7-3.

8-19. Коэффициент загрязнения или коэффициент тепловой эффективности перегревателя находится по § 7-Б, д. Температура загрязненной стенки перегревателя — по формуле (7-56) или (7-57) в соответствии с рекомендациями п. 7-36.

При использовании формулы (7-56) рекомендуется не уточнять t_3 , если погрешность предварительно принятой величины Q не выше $\pm 15\%$.

8-20. Коэффициент теплоотдачи излучением определяют с помощью номограмм 2 и 19 по указаниям пп. 7-32—7-34, предварительно найдя эффективную толщину излучающего слоя s .

Излучение газовых объемов, расположенных до или внутри перегревателя, учитывается по п. 7-37.

Излучение на перегреватель газовых объемов, расположенных за ним, не учитывается.

8-21. Коэффициент теплоотдачи от стенки трубы к пару α_2 ввиду относительно малого его влияния на величину коэффициента теплопередачи может определяться с некоторыми упрощениями.

Для расчета α_2 условно можно принимать удельный объем пара при средней его температуре по таблицам пара. Среднее давление пара в перегревателе или его части принимается равным полусумме давлений на входе и выходе.

По найденным средним значениям давления, температуры и скорости пара и внутреннему диаметру труб по номограмме 15 определяется коэффициент теплоотдачи от стенки к пару α_2 . При расчете перегревателей котлов сверхкритического давления термическое сопротивление $1/\alpha_2$ мало и его можно не учитывать.

8-22. Коэффициент теплопередачи перегревателя в зависимости от конструкции последнего и вида сжигаемого топлива определяется по формулам (7-13), (7-15а) или (7-16). При смешанном поперечно-продольном омывании — по п. 7-12.

8-23. При конструктивном расчете по уравнению (7-01) рассчитывается необходимая поверхность нагрева перегревателя; при поверочном — по этому же уравнению (7-01) определяется тепловосприятие перегревателя. Если оно расходится с величиной, подсчитанной

по уравнению баланса (7-02) или (7-03), не более чем на 2% (при отсутствии пароохладителя — не более 3%), расчет перегревателя считается законченным, а тепловосприятие его вычисляется по формуле (7-02) или (7-03).

Если расхождение больше, необходимо повторить расчет в соответствии с указаниями п. 8-04. При этом пересчет коэффициента теплопередачи производится в случае изменения конечной температуры газов более чем на 50°C , величина температурного напора во всех случаях пересчитывается, а коэффициент теплоотдачи от стенки к пару не пересчитывается.

Если после пересчета расхождение полученной и принятой величин больше допустимого, конечную температуру газов уточняют согласно п. 8-04. По этой температуре из формулы (7-02) определяют тепловосприятие перегревателя, а из формулы (7-03) уточняют тепловосприятие пароохладителя или находят температуру перегрева.

8-24. Если тепло, отданное газами, вычислено с учетом тепловосприятия дополнительной поверхности нагрева (см. п. 8-07), последнее после расчета перегревателя проверяется по формуле

$$Q' = \frac{H'k(\vartheta - t)}{B_p}, \text{ ккал/кг}, \quad (8-05)$$

где H' — активно оmyваемая газами дополнительная поверхность нагрева, м^2 (определяется согласно п. 8-07);

k — коэффициент теплопередачи перегревателя, $\text{ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C})$;

ϑ и t — температуры газов в перегревателе и обогреваемой среды в дополнительной поверхности нагрева, $^\circ\text{C}$ (см. п. 8-07).

8-25. Порядок расчета радиационных (настенных) перегревателей следующий.

Тепловосприятие их (как и экранных поверхностей) рассчитывается по поверхности стены $F_{\text{ст}}$ и коэффициенту эффективности ψ или (метод ВТИ—ЭНИН) по лучевоспринимающей поверхности $H_{\text{л.пе}}$. Удельная тепловая нагрузка поверхности радиационного перегревателя определяется с помощью позонного расчета или в случае его отсутствия коэффициента распределения тепла η_v .

Тепловосприятие, отнесенное к 1 кг топлива, вычисляется по формуле

$$Q_{\text{л.пе}} = \frac{H_{\text{л.пе}} q_{\text{пе}}}{B_p}, \text{ ккал/кг}. \quad (8-06)$$

После определения $Q_{\text{л.пе}}$ по заданной энтальпии пара на входе в перегреватель из уравнения баланса (7-03) получаем конечную энтальпию и температуру пара.

8-26. Наличие пароохладителя обуславливает некоторые особенности расчета перегревателя.

При установке поверхностного пароохладителя на стороне насыщенного пара, если его тепловосприятие задано величиной увлажнения пара перед перегревателем x , начальная энтальпия пара подсчитывается по формуле

$$i' = i_{\text{н.п}} - r(1-x), \text{ ккал/кг} \quad (8-07)$$

(r — теплота парообразования при давлении в барабане котла, ккал/кг).

Если тепловосприятие пароохладителя задано количеством тепла, отдаваемым 1 кг пара охлаждающей воде, $\Delta i_{\text{по}}$, начальная энтальпия пара подсчитывается по формуле

$$i' = i_{\text{н.п}} - \Delta i_{\text{по}}, \text{ ккал/кг}. \quad (8-08)$$

Допустимость определения температурного напора в перегревателе без учета начальной влажности проверяется по формуле (7-90).

При установке поверхностного или впрыскивающего пароохладителя «в рассечку» температурный напор рассчитывается отдельно для обеих частей по фактическим температурам в них, при этом учитывается снижение температуры и энтальпии пара при переходе из одной части перегревателя в другую. Коэффициент теплопередачи можно принять общим для всех последовательно расположенных по ходу газов конструктивно однотипных частей перегревателя.

При установке «в рассечку» впрыскивающих пароохладителей расход пара через предвключенные (по ходу пара) части перегревателя D' меньше расчетного D на количество впрыскиваемой за ними воды ΔD :

$$\Delta D = D - D' = D \frac{\Delta i_{\text{по}}}{i''_I - i_{\text{ж}}}, \text{ кг/ч.} \quad (8-09)$$

где $\Delta i_{\text{по}} = i''_I - i'_{II}$, ккал/кг;

i''_I — энтальпия пара на выходе из предвключенной по ходу пара части перегревателя, т. е. при входе в пароохладитель, ккал/кг;

i'_{II} — энтальпия пара при выходе из пароохладителя, т. е. при входе в последующую часть перегревателя, ккал/кг;

$i_{\text{ж}}$ — энтальпия воды, подаваемой в пароохладитель, ккал/кг.

При конструктивном расчете перегревателя с пароохладителем, установленным «в рассечку», обычно задаются температурой пара на выходе из предвключенной (по ходу пара) части перегревателя и величиной $\Delta i_{\text{по}}$. Остальные балансовые величины определяются из уравнений (7-02), (7-03) и (8-09).

При поверочном расчете вначале рассчитывается первая по ходу газов часть перегревателя. Если она является предвключенной пароохладителю по ходу пара, то предварительно задаются величиной ΔD , если последующей по ходу пара — значением $\Delta i_{\text{по}}$.

При газовом регулировании перегрева с пропуском части газов мимо перегревателя конструктивный расчет производится следующим образом: по заданной части газов, проходящих через перегреватель, определяются энтальпия и температура газов за перегревателем и рассчитывается его поверхность нагрева. При наличии в обводном газоходе поверхности нагрева она рассчитывается с учетом доли пропускаемых газов. После этого по уравнению смешения (7-10) определяются энтальпия и температура газов на входе в последующую поверхность. Расчет поверхностей нагрева, расположенных в основном и обводном газоходах, ведется с учетом доли газов, проходящих через каждый газоход; действительное распределение газов находится методом последовательного приближения. Энтальпия и температура газов при входе в последующую поверхность нагрева определяются по энтальпиям и температурам газов за каждым из параллельных газоходов с помощью формулы смешения (7-10).

При отсутствии поверхности нагрева в обводном газоходе следует проверить, достаточно ли поверхность нагрева перегревателя при пропуске через него полного количества газов с учетом протечки при закрытых шиберах обводного газохода. Вычисленные по уравнению баланса (7-02) конечные значения энтальпии и температуры газов принимаются для расчета последующей поверхности нагрева.

При наличии паропаровых или газопаропаровых теплообменников для регулирования температуры вторичного пара необходимо предварительно оценить количество тепла, передаваемого первичным паром. После расчета уточняются тепловосприятости теплообменника и части первичного перегревателя за ним.

8-Г. РАСЧЕТ ПЕРЕХОДНОЙ ЗОНЫ ПРЯМОТОЧНЫХ КОТЛОВ ДОКРИТИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ

8-27. При конструктивном расчете задаются энтальпиями пароводяной смеси (или пара) на входе в переходную зону и пара на выходе из нее; при поверочном — энтальпии принимаются с последующей проверкой и уточнением.

8-28. Расчет конвективной переходной зоны прямооточного котла не отличается от расчета конвективного перегревателя при высокой влажности поступающего в него пара, т. е. при наличии пароохладителя на стороне насыщенного пара. При перегреве пара в переходной зоне $\leq 40^\circ\text{C}$ можно рассчитывать температурный напор для всей переходной зоны как среднеарифметическую разность температур газов и воды при кипении. Если перегрев пара в переходной зоне выше 40°C , она рассчитывается по участкам согласно рекомендациям п. 7-72.

Коэффициент теплоотдачи от стенки к пару α_2 ввиду высоких его значений не учитывается.

8-29. Расчет радиационной переходной зоны такой же, как радиационного перегревателя.

8-Д. РАСЧЕТ КОТЕЛЬНЫХ ПУЧКОВ И ФЕСТОНА

8-30. Из расчета топки или предыдущей пучку поверхности нагрева известны температура и энтальпия газов перед котельным пучком.

При конструктивном расчете, т. е. при определении необходимой поверхности нагрева пучка, иногда задается температура газов за пучком. При расчете первого пучка эта температура должна быть увязана с условиями обеспечения надежной работы перегревателя (см. приложение II).

При поверочном расчете принятая температура газов за пучком проверяется и уточняется.

Количество тепла, воспринимаемое котельным пучком, определяется по уравнению баланса (7-02).

8-31. Температурный напор рассчитывается по формуле (7-75) или (7-76), так как температура обогреваемой среды постоянна и равна температуре кипения при давлении в барабане котла.

Среднюю температуру потока газов находят по формуле (7-32).

По средней температуре потока из формулы (7-21) получаем средние скорости газов на участках с продольным и поперечным обтеканием. Объем продуктов сгорания $1 \text{ кг (м}^3\text{)}$ топлива принимается при среднем избытке воздуха в пучке, а если присоса в первом пучке нет, при избытке воздуха в топке.

8-32. Коэффициент теплоотдачи конвекцией при поперечном обтекании определяется в зависимости от формы пучка (коридорный или шахматный) по номограмме 12 или 13. При косом обтекании коридорных пучков с углом между направлением потока и осями труб, меньшим 80° , полученная из номограммы 12 величина α_k умножается на 1,07.

Коэффициент теплоотдачи конвекцией при продольном обтекании определяется по номограмме 14, для чего предварительно по формуле (7-43б) рассчитывается эквивалентный диаметр газохода. Так как отношение длины пути к эквивалентному диаметру ($l/d_{\text{э}}$) на участке продольного омывания обычно невелико, учитывается поправка на $l/d_{\text{э}}$.

Фестон, образованный из смещенных вдоль потока газов труб экрана, рассчитывается как обычный шахматный пучок.

8-33. Для определения коэффициента теплоотдачи излучением в межтрубном пространстве пучка предварительно по формуле (7-54) находят эффективную толщину

ну излучающего слоя. Шаги труб вычисляются по действительному расстоянию между их осями в основной части пучка без учета отдельных разрывов или пазух.

Излучение газовых объемов на пучки не учитывается.

Коэффициент теплоотдачи излучением определяется так же, как для перегревателя; температура загрязненной стенки вычисляется по формуле (7-57).

8-34. Коэффициент теплопередачи рассчитывается по формуле (7-17).

8-35. При числе рядов пучка 5 и более тепло, падающее из топki на пучок, полностью им воспринимается. При меньшем числе рядов часть тепла воспринимается последующими поверхностями. Для учета последнего необходимо определить по номограмме 1, г угловой коэффициент пучка $\chi_{пуч}$ и вычислить тепло, воспринимаемое пучком:

$$Q_{л.п} = \frac{\chi_{пуч} q_{л.в} H_{л.п}}{B_p}, \text{ ккал/кг}, \quad (8-10)$$

где $q_{л.в}$ — тепловая нагрузка экранов в верхней части топki, $\text{ккал/м}^2 \cdot \text{ч}$, определенная из позонного расчета топki, а в случае его отсутствия — при помощи коэффициента распределения η_v ;

$H_{л.п}$ — лучевоспринимающая поверхность пучка, м^2 .

8-36. При конструктивном расчете по формуле (7-01) вычисляется поверхность нагрева пучка.

В отличие от Нормативного метода (изд. 1957 г.) в формулу (7-01) входит полная поверхность пучка без вычета эффективной поверхности, воспринимающей излучение из топki.

8-37. При поверочном расчете по уравнению теплопередачи (7-01) определяется количество тепла, переданного поверхности нагрева пучка, отнесенное к 1 кг (м^3) топлива.

Если расхождение между значениями тепловосприятия по уравнениям баланса и теплопередачи не превышает 2% для котельных пучков и 5% для фестонов (образованных из отводящих труб экранов), расчет не уточняется.

При больших расхождениях расчет следует повторить в соответствии с указаниями п. 8-04.

8-Е. РАСЧЕТ ВТОРИЧНОГО ПЕРЕГРЕВАТЕЛЯ

8-38. Расчет вторичного перегревателя ведется по заданному количеству и параметрам вторичного пара и не отличается в основном от расчета первичного.

Особенность вносит наличие паропаровых или газопаропаровых теплообменников; при их установке тепло, отданное газами перегревателю, определяется по уравнению

$$Q = \frac{D_{вт}}{B_p} (i'' - i') - Q_t, \text{ ккал/кг}, \quad (8-11)$$

где Q_t — количество тепла, воспринятое в теплообменнике вторичным паром от первичного, на 1 кг топлива, ккал/кг .

8-39. При расчете газопаропаровых теплообменников коэффициент теплопередачи для определения тепловосприятия от первичного пара рассчитывается так же, как для паропарового теплообменника, а для определения тепловосприятия по газовой стороне — как для обычных трубных пачетов, омываемых газами. Температурный напор вычисляется по температурам греющих сред (газов или первичного пара) при одинаковой для обеих сред температуре вторичного пара, рассчитываемой с учетом его тепловосприятия, с помощью метода последовательных приближений.

8-Ж. РАСЧЕТ ЭКОНОМАЙЗЕРА

8-40. При конструктивном расчете экономайзера энтальпии газов и воды на входе известны. Тепловосприятие определяется из уравнения баланса:

$$Q_{эк} = Q_{гр} \eta_{к.а} \frac{100}{100 - q_4} - Q_{л} - Q_{к} - Q_{п.з} - Q_{пе} - Q_{вт}, \text{ ккал/кг}, \quad (8-12)$$

где $Q_{л}$, $Q_{к}$, $Q_{п.з}$, $Q_{пе}$, $Q_{вт}$ — количества тепла, воспринятые на 1 кг топлива лучевоспринимающими поверхностями топki, котельными пучками, переходной зоной и перегревателями (кроме радиационных), ккал/кг в формулу подставляются значения тепловосприятия, определенные из уравнений баланса.

При поверочном расчете входные энтальпии газов и воды также обычно известны. Порядок поверочного расчета экономайзера описан в п. 8-05 и 8-06.

Расчет ступеней двухступенчатых экономайзеров аналогичен расчету одноступенчатых экономайзеров.

8-41. Расчет водяного экономайзера в основном совпадает с расчетом перегревателя. Коэффициент теплопередачи рассчитывается по формуле (7-156), величина термического сопротивления по водяной стороне $1/a_2$ не учитывается.

В расчет экономайзера вводятся фактические значения расхода воды через него $D_{эк}$ с учетом продувки и пропуска воды через пароохладитель (при параллельном включении пароохладителя и экономайзера) и энтальпии воды на входе в экономайзер (при возврате воды из пароохладителя в экономайзер). Последняя определяется по формуле

$$i' = i_{п.в} + \Delta i_{п.о} \frac{D_{пе}}{D_{эк}}, \text{ ккал/кг}, \quad (8-13)$$

где i' и $i_{п.в}$ — энтальпии воды на входе в экономайзер и питательной, ккал/кг ; $\Delta i_{п.о}$ — перепад энтальпий пара в пароохладителе, получаемый из расчета перегревателя, ккал/кг ; $D_{пе}$ — расход пара через перегреватель, кг/ч .

8-42. Температурный напор в экономайзере определяется с учетом взаимного направления потоков газов и воды. При частичном испарении воды в экономайзере расчет ведется по условной температуре воды на выходе (см. п. 7-73). По ней же определяется средняя температура воды для расчета температуры стенки.

8-43. Температура загрязненной стенки водяного экономайзера вычисляется по формуле (7-57).

8-44. При наличии обводного газохода часть газов через неплотности в заслонках проходит мимо экономайзера. Для двойных закрытых шиберов пропуск принимается равным 5%, для одинарных — 10%. Температура газов на выходе из экономайзера и скорость их определяются с учетом пропуска части газов через шунт.

8-45. Для ребристых и плавниковых экономайзеров коэффициент теплопередачи рассчитывается по указаниям § 7-Б, г, для ребристых экономайзеров ЦККБ и ВТИ — по номограмме 20.

Поверхность нагрева ребристых экономайзеров определяется по газовой стороне; экономайзеров ЦККБ и ВТИ — принимается по номограмме 20, плавниковых экономайзеров — с учетом поверхности плавников по формуле:

$$H = \pi d l_{тр} + 4 h_{пл} l_{пл}, \text{ м}^2, \quad (8-14)$$

где $h_{пл}$ и $l_{пл}$ — высота и длина плавников, м .

8-З. РАСЧЕТ ВОЗДУХОПОДОГРЕВАТЕЛЯ

8-46. При одноступенчатой компоновке воздухоподогреватель рассчитывается как одно целое, при компоновке «в рассечку» каждая часть рассчитывается отдельно.

8-47. При конструктивном расчете воздухоподогревателя задаются температурами воздуха на входе и выходе из него, а также температурой газов на одном конце.

При поверочном расчете известны входные энтальпии газов и воздуха. (Порядок поверочного расчета воздухоподогревателя описан в пп. 8-05 и 8-06.)

8-48. Баланс тепла по газовой и воздушной сторонам воздухоподогревателя сводится с помощью формул (7-02) и (7-05).

Расчет ведется по действительному расходу воздуха (с учетом присосов и утечек в последующем тракте).

В случае подогрева всего воздуха в воздухоподогревателе величина $\beta''_{вп}$ для одноступенчатого и второй ступени двухступенчатого воздухоподогревателя находится из равенства:

$$\beta''_{вп} = \alpha_t - \Delta\alpha_t - \Delta\alpha_{пл} \quad (8-15)$$

(α_t — коэффициент избытка воздуха в топке, $\Delta\alpha_t$ и $\Delta\alpha_{пл}$ — присосы воздуха в топке и системе пылеприготовления, определяемые по табл. XVI).

Величина β''_1 для первой ступени двухступенчатого воздухоподогревателя определяется из равенства:

$$\beta''_1 = \beta''_{вп} + \Delta\alpha_2, \quad (8-16)$$

где $\Delta\alpha_2$ — утечка воздуха из второй ступени воздухоподогревателя, принимаемая равной присосу по газовой стороне.

В случае подогрева во второй ступени лишь части воздуха расчет этой ступени ведется по фактически выходящему из нее количеству воздуха.

8-49. В тех случаях, когда температура воздуха на входе в воздухоподогреватель повышается за счет рециркуляции части горячего воздуха, отношение количества рециркулирующего воздуха к теоретически необходимому определяется по приближенному уравнению:

$$\beta_{рц} = (\beta''_{вп} + \Delta\alpha_{вп}) \frac{t'_{вп} - t_{х.в.}}{t_{х.в.} - t'_{в.п.}}, \quad (8-17)$$

где $\Delta\alpha_{вп}$ — утечка воздуха из воздушных каналов во всем воздухоподогревателе, принимаемая равной присосу по газовой стороне; $t_{х.в.}$, $t'_{вп}$ и $t_{г.в.}$ — температуры холодного, на входе в воздухоподогреватель (после смешения холодного с рециркулирующим) и горячего воздуха, °С.

При наличии рециркуляции баланс тепла, температурный напор, средняя температура и скорость воздуха рассчитываются по действительному расходу и температуре воздуха, а к величине $\beta_{вп}$ добавляется $\beta_{рц}$.

8-50. При установке воздухоподогревателей с «холодной» (входной) частью, отличающейся формой поверхности нагрева от основной, «горячей», «холодная» часть рассчитывается отдельно. Для расчета принимается промежуточная температура газов или воздуха и по балансу определяется промежуточная температура второй среды; эти температуры уточняются методом последовательных приближений. «Холодная» часть рассчитывается по соответствующим температурам и скоростям сред. Величина перетечки воздуха из воздушной в газовую сторону для этой части принимается равной половине всей перетечки.

8-51. При конструктивном расчете величина «холодной» части определяется из условия получения на входе в «горячую» часть температуры стенки выше температуры точки росы (см. приложение II).

8-52. Средние температуры газов и воздуха рассчитываются как полусуммы их температур на входе и выходе из воздухоподогревателя.

8-53. Средняя скорость воздуха определяется по среднему (между входом и выходом) расходу его в рассчитываемой ступени воздухоподогревателя по формуле (7-22) при средней температуре.

8-54. У трубчатых воздухоподогревателей коэффициент теплоотдачи конвекцией для среды, текущей внутри труб, определяется по номограмме 14 с соответствующей поправкой на физические характеристики среды и температурные условия C_ϕ . При охлаждении газов в трубах C_ϕ не зависит от температуры стенки. При нагревании воздуха в трубах C_ϕ зависит от температуры стенки, принимаемой равной полусумме средних температур газов и воздуха. Поправку на относительную длину труб обычно можно не учитывать.

Для среды, движущейся между трубами, коэффициент теплоотдачи конвекцией при чисто поперечном омывании определяется по номограмме 12 или 13 в зависимости от расположения труб в пучке — шахматного или коридорного.

Для регенеративных воздухоподогревателей коэффициент теплоотдачи определяется по номограмме 18.

Для пластинчатых воздухоподогревателей коэффициенты теплоотдачи конвекцией от газов к стенке и от стенки к воздуху при $Re < 10^4$ рассчитываются по номограмме 17. В указанной области чисел Re величина коэффициента теплоотдачи не зависит от ширины щели и определяется в зависимости от скорости и температуры среды. Верхние линии, на которых показана ширина щелей, указывают предел применимости номограммы. Если точка пересечения линий, соответствующих температуре и скорости среды, окажется выше линии, обозначающей расчетную ширину щели, номограмма 17 неприменима и коэффициент теплоотдачи рассчитывается по номограмме 14, как при обычном продольном омывании (см. указания по трубчатым воздухоподогревателям).

Для ребристых и ребристо-зубчатых воздухоподогревателей выпускаемых в настоящее время конструкций приведенный коэффициент теплоотдачи от газов к стенке определяется по номограмме 21, от стенки к воздуху — по номограмме 22, для плитчатых воздухоподогревателей Кусинского завода приведенный коэффициент теплоотдачи от газов к стенке и от стенки к воздуху находится по номограмме 23, для ребристых воздухоподогревателей нестандартных конструкций коэффициенты теплоотдачи конвекцией определяются по указаниям § 7-Б, г.

8-55. Коэффициент теплоотдачи излучением продуктов сгорания рассчитывается только для вторых ступеней трубчатых и пластинчатых воздухоподогревателей.

8-56. Коэффициенты теплопередачи воздухоподогревателей рассчитываются по формуле (7-19) при помощи коэффициента использования ξ .

Для горизонтальных воздухоподогревателей, в которых воздух протекает внутри труб, коэффициент теплопередачи вычисляется по формуле (7-15а) или (7-19).

8-57. Поверхность нагрева трубчатых воздухоподогревателей рассчитывается по среднему диаметру труб. Для вращающихся регенеративных воздухоподогревателей в расчет вводится двусторонняя поверхность набивки. Для ребристых и ребристо-зубчатых — полная поверхность нагрева с газовой стороны, определяемая по номограмме 21. Поверхность нагрева пластинчатых воздухоподогревателей одинакова с газовой и воздушной сторон; она принимается по соответствующим проектным нормам.

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ I

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

1. Ниже приведены основные сокращения, принятые для индексов, и основные условные обозначения, использованные в тексте.

Так как эти условные обозначения и сокращения не могут охватить все встречающиеся случаи, поэтому даны общие указания, которыми следует руководствоваться при выборе обозначений и индексов.

2. Для обозначения основных величин используются буквы латинского, русского и греческого алфавитов.

Следует по возможности избегать применения одного и того же обозначения (буквы) для различных величин. Одинаковые обозначения могут допускаться в тех случаях, когда они укоренились в различных областях техники.

3. Строчными буквами обозначаются энтальпии, теплоты, объемы, количества тепла и т. п., отнесенные к 1 кг (m^3) рабочего тела, прописными — те же величины, отнесенные к 1 кг (m^3) топлива, и суммарные, например: энтальпия 1 кг пара — i , ккал/кг, энтальпия продуктов сгорания 1 кг топлива — I , ккал/кг, общее тепловосприятие рассчитываемой поверхности нагрева — Q , ккал/кг.

4. Для обозначения разности величин как местных, так и усредненных значений применяется греческая буква Δ , поставленная слева от основной буквы. Например, перепад энтальпий газов в воздухоподогревателе — $\Delta i_{вп}$.

5. Сложные индексы, состоящие из нескольких отдельных, располагаются в следующей последовательности: первый индекс характеризует процесс или рабочее тело, второй — элемент оборудования. Например, коэффициент теплоотдачи от стенки к пару, протекающему

в перегревателе, обозначается $\alpha_{2пе}$ (если принадлежность данной величины α_2 перегревателю должна быть отражена в обозначении).

6. В выражении, представляющем произведение ряда величин, имеющих одинаковые индексы, индекс ставится лишь у последнего множителя произведения. Например, суммарная теплоемкость газов за экономайзером — $Vc''_{эк}$.

7. Индексы, как правило, ставятся справа внизу основного обозначения. Верхние индексы (располагаются также справа) применяются в следующих случаях:

а) когда они относятся к массе топлива, например влажность рабочего топлива — W_p ;

б) при обозначении какой-либо величины на входе или выходе из элементов оборудования (вверху ставятся соответственно один или два штриха), например температура воздуха перед воздухоподогревателем и за ним — $t'_{вп}$ и $t''_{вп}$;

в) когда говорится о теоретическом количестве (вверху ставится ноль), например теоретически необходимый объем воздуха — V^0 .

8. В пределах расчета данного элемента агрегата индексы, указывающие на элемент, не ставятся.

9. Для обозначения средних значений расчетных величин, как правило, дополнительные индексы не вводятся. Например, средняя температура газов в воздухоподогревателе — $\theta_{вп}$.

Расчетная величина, полученная путем специального усреднения, отмечается индексом «ср». Например, средний коэффициент теплоотдачи при сложном омывании — $\alpha_{ср}$.

Сокращения, принятые для индексов

Наименование	Индекс	Наименование	Индекс	Наименование	Индекс
Элементы оборудования		Рабочие тела		Холодный воздух	х. в
Топка	т	Топливо	тл	Сухой воздух	с. в
Экраны (водяные)	э	Газообразное топливо	г. тл	Зола	зл
Котельный пучок (котел)	к	Вода (жидкость)	ж	Шлак	шл
Перегреватель	пе	Вода при температуре кипения	кип	Унос	ун
Вторичный перегреватель	вт	Питательная вода	п. в	Провал	пр
Экономайзер	эк	Пар (независимо от состояния)	п	Остальные индексы	
Воздухоподогреватель	вп	Насыщенный пар	н. п	Первичный	пер
Переходная зона прямоточных котлов	п.з	Перегретый пар	п. п	Вторичный	вт
Котельный агрегат	к.а	Вторичный пар	вт. п	Присос (воздуха)	пр
Экономайзер низкого давления	эк.н.д	Продукты сгорания (газы)	г	Рециркуляция	рц
Золословитель	зу	Сухие дымовые газы	с. г	Общий	общ
Пылеприготовительная установка	пл	Газы рециркуляции	рц	Максимальный	макс
		Сушильный агент	с. а	Минимальный	мин
		Воздух (обычной влажности)	в	Эквивалентный	э
				Приведенный	п
				Расчетный	р
				Часовой	ч
				Секундный	сек

ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

Обозначение	Размерность	Наименование величины
1. Топливо и очаговые остатки		
а) Твердое и жидкое топливо		
W^p	%	Содержание влаги общей
A^p	"	Зольность
$(CO_2)_K^p$	"	Содержание двуокиси углерода карбонатов
$S_{об}^p, S_{ст}^p$	"	Содержание серы общей, сульфатной
C^p, H^p, N^p, O^p	"	Содержание углерода, водорода, азота, кислорода
Q_6^p, Q_B^p, Q_H^p	ккал/кг	Теплота сгорания по калориметрической бомбе, высшая и низшая
V_r	%	Выход летучих (на горючую массу)
$A^u = 10^3 A^p / Q_H^p$	%/10 ³ ккал/кг	Приведенная зольность топлива
$W^u = 10^3 W^p / Q_H^p$	"	Приведенная влажность топлива
R_{88}, R_{200}	%	Остаток пыли на сите с отверстиями размером 88 и 200 мкм
$\Gamma_{ун}, \Gamma_{шл+пр}$	"	Содержание горючих в уносе, шлаке и провале
$a_{ун}, a_{шл+пр}$	"	Доля золы топлива в уносе, шлаке и провале
B	кг/ч	Часовой расход топлива
B_p	кг/ч	Расчетный расход топлива с поправкой на механическую неполноту сгорания
g	—	Массовая доля одного вида топлива в смеси топлив (снабжается индексом, обозначающим топливо)
q	—	Доля тепловыделения одного топлива в смеси топлив (снабжается индексом, обозначающим топливо)

б) Газообразное топливо

$d_{г.тл}$	г/м ³	Содержание влаги в газообразном топливе (на 1 м ³ сухого газа при 0 °С и 760 мм рт. ст.)
$A_{г.тл}^c$	%	Содержание минеральных примесей в газообразном топливе (по массе)
Q_H^p	ккал/м ³	Теплота сгорания 1 м ³ сухого газа
$\rho_{г.тл}^c, \rho_{г.тл}^B$	кг/м ³	Плотность сухого и влажного газообразного топлива

Примечание. Для обозначения элементарного состава топлива, отнесенного к другим массам, употребляются те же основные буквы и нижние индексы. Изменяются только соответственно верхние индексы, а именно: для аналитической массы — индекс «а»; для сухой массы — индекс «с»; для горючей массы — индекс «г».

[2. Воздух и продукты сгорания]**а) Объем* на 1 кг твердого и жидкого или на 1 м³ газообразного топлива**

V^0	м ³ /кг (м ³ /м ³)	Теоретический объем воздуха, необходимого для сгорания
$V_{N_2}^0$	"	Теоретический объем азота (при $\alpha=1$)
V_{RO_2}	"	Суммарный объем углекислого CO ₂ и сернистого SO ₂ газов
V_r^0	"	Объем продуктов сгорания при $\alpha=1$
V_r	"	Полный объем продуктов сгорания
$V_{рц}$	"	Объем газов, отбираемых для рециркуляции
$\rho_{с.в} и \rho_v$	кг/м ³	Плотность сухого и влажного воздуха
$\Gamma_{RO_2}, \Gamma_{H_2O} и \Gamma_{п}$	—	Объемные доли сухих трехатомных газов, водяных паров и сумма их
p_n	кгс/см ²	Суммарное парциальное давление трехатомных газов
$\mu_{вл}$	кг/кг	Массовая концентрация золы в продуктах сгорания
$d_v и d_t$	г/кг	Влагосодержание на 1 кг сухого воздуха и газов

* Все объемы при 0 °С и 760 мм рт. ст.

Продолжение

Обозначение	Размерность	Наименование величины
б) Теплоемкости и энтальпии		
c_{CO_2} и c_{H_2O}	ккал/(м ³ ·°C)	Теплоемкость углекислого газа и водяных паров
c_a	" "	Теплоемкость влажного воздуха (при расчете на 1 м ³ сухого)
V_c	ккал/(кг·°C)	Суммарная теплоемкость продуктов сгорания
$c_{зп}$ и $c_{тп}$	" "	Теплоемкость золы и топлива
I	ккал/кг (ккал/м ³)	Энтальпия продуктов сгорания 1 кг (м ³) топлива
I_{Γ}^0	" "	Энтальпия продуктов сгорания 1 кг (м ³) топлива при $\alpha=1$
I_D^0	" "	Энтальпия воздуха, теоретически необходимого для сгорания
I_a	" "	Энтальпия воздуха на 1 кг (м ³) топлива
$i_{тп}$	" "	Физическое тепло топлива
в) Коэффициент избытка воздуха		
α_{Γ} и $\alpha'_{пс}$	—	Коэффициенты избытка воздуха в топке и перед перегревателем
$\Delta\alpha_{\Gamma}$ и $\Delta\alpha_{пс}$	—	Присосы воздуха в газоходах (топке и перегревателе)
$\Delta\alpha_{пл}$	—	Присос воздуха в пылеприготовительной установке
$\beta'_{вп}$ и $\beta''_{вп}$	—	Отношения количества воздуха на входе в воздухоподогреватель и выходе из него к теоретически необходимому
$\beta_{рп}$	—	Отношение количества воздуха, рециркулирующего в воздухоподогревателе, к теоретически необходимому
$g_{ш}$	—	Расход газов, шунтирующих газоход, в долях общего расхода
г) Физические характеристики		
$\mu_{пл}$	(кгс·сек)/м ²	Коэффициент динамической вязкости
$\nu = \mu g / \rho$	м ² /сек	Коэффициент кинематической вязкости при давлении 1 кгс/см ²
ν_{Γ}	"	Коэффициент кинематической вязкости продуктов сгорания среднего состава при давлении 1 кгс/см ²
λ_{Γ}	ккал/(м·ч·°C)	Коэффициент теплопроводности продуктов сгорания среднего состава
ρ	кг/м ³	Плотность
$a = \lambda / c_p \rho$	м ² /ч	Коэффициент температуропроводности (c_p — истинная теплоемкость при постоянном давлении, ккал/(кг·°C))
3. Тепловый баланс, количество тепла и тепловые нагрузки		
$\eta_{к.а}$	%	Коэффициент полезного действия (к. п. д.) котельного агрегата (брутто)
Q_1, q_1	ккал/кг; %	Полезно используемое тепло
Q_2, q_2	" "	Потеря тепла с уходящими газами
Q_3, q_3	" "	Потеря тепла от химической неполноты сгорания
Q_4, q_4	" "	Потеря тепла от механической неполноты сгорания
$Q_{4уш}, Q_{4шл+пр}, q_{4уш}, q_{4шл+пр}$	" "	Потеря тепла с уносом, шлаком и провалом вследствие механической неполноты сгорания
Q_5, q_5	" "	Потеря тепла в окружающую среду
$Q_{6шл}, q_{6шл}$	" "	Потеря с теплом шлака
$Q_{6охл}, q_{6охл}$	" "	Потеря с водой, охлаждающей панели
φ	—	Коэффициент сохранения тепла
Q_p^p	ккал/кг (ккал/м ³)	Располагаемое тепло на 1 кг (м ³) топлива
Q_s	" "	Тепло воздуха, поступающего в топку
$Q_{л}$	" "	Количество тепла, переданного поверхности нагрева излучением
$q_V = BQ_p^p / V_{\Gamma}$	ккал/(м ³ ·ч)	Тепловое напряжение топочного объема
$q_R = BQ_p^p / R$	ккал/(м ² ·ч)	Тепловое напряжение зеркала горения колосниковой решетки
$q_F = BQ_p^p / F$	" "	Тепловое напряжение сечения топки

Обозначение	Размерность	Наименование величины
4. Вода и пар		
D	кг/ч; т/ч	Паропроизводительность котла
$D_{н.п.}$	" "	Количество насыщенного пара, отданного котлом помимо перегревателя
$D_{п.р.}$	" "	Количество воды, идущее в продувку
$D_{п.е.}$	" "	Расход пара через перегреватель
$D_{э.к.}$	" "	Расход воды через экономайзер
$i_{п.п.}$ и $i_{н.п.}$	ккал/кг	Энтальпия перегретого и насыщенного пара
$i_{п.в.}$	"	Энтальпия питательной воды
$i_{к.п.п.}$	"	Энтальпия воды при кипении
r	"	Теплота парообразования
$\Delta i_{по}$	"	Снижение энтальпии пара в пароохладителе
i' и i''	"	Энтальпия пара (воды) на входе в поверхность нагрева и выходе из нее

5. Температура и давление

ϑ_a	°C	Теоретическая (адиабатическая) температура сгорания
ϑ''_r	"	Температура на выходе из топки
ϑ_{yx}	"	Температура уходящих газов
$t_{x.в.}$	"	Температура холодного (присосанного) воздуха
$t'_{в.п.}$ и $t''_{в.п.}$	"	Температура воздуха на входе в воздухоподогреватель и выходе из него
$t'_{э.к.}$ и $t''_{э.к.}$	"	Температура воды на входе в экономайзер и выходе из него
$t_{п.в.}$	"	Температура питательной воды
$t_{п.п.}$	"	Температура перегретого пара
$t'_{п.е.}$ и $t''_{п.е.}$	"	Температура пара на входе в перегреватель и выходе из него
t_s	"	Температура наружной поверхности загрязнений
$t_{ст.н.}$	"	Температура поверхности металла труб (наружная)
Δt_6 и Δt_m	"	Большее и меньшее значения температурных напоров на границах поверхности нагрева
Δt	"	Средний температурный напор
τ	—	Перепад температур одного из теплоносителей
p	кгс/см ²	Абсолютное давление

6. Теплопередача

$k_{т.п.}$	—	Коэффициент ослабления лучей трехатомными газами
$k_{эл.в.л.}$	—	Коэффициент ослабления лучей золовыми частицами
a_{ϕ}	—	Степень черноты факела
a_t	—	Степень черноты топки
α_l	ккал/(м ² ·ч·°C)	Коэффициент теплоотдачи межтрубным излучением продуктов сгорания
$\alpha_{л.г.}$	" "	Коэффициент теплоотдачи межтрубным излучением трехатомных газов
α_k	" "	Коэффициент теплоотдачи конвекцией
α_1	" "	Суммарный коэффициент теплоотдачи от газов к стенке
α_2	" "	Коэффициент теплоотдачи от стенки к внутренней среде
ϵ	(м ² ·ч·°C)/ккал	Коэффициент теплового сопротивления внешнего загрязнения (коэффициент загрязнения)
ϕ	—	Коэффициент тепловой эффективности
ξ	—	Коэффициент использования поверхности нагрева
k	ккал/(м ² ·ч·°C)	Коэффициент теплопередачи
$Re = wd/\nu$	м/сек	Скорость газов
$Pr = 3600 \nu/a$	—	Критерий Рейнольдса (d — определяющий линейный размер)
$Nu = \alpha d/\lambda$	—	Критерий Прандтля (физических свойств среды)
	—	Критерий Нуссельта

Обозначение	Размерность	Наименование величины
7. Геометрические характеристики		
V_T	$м^3$	Объем топочной камеры
R	$м^2$	Площадь зеркала горения
H	"	Поверхность нагрева (индекс внизу — наименование поверхности)
$F_{ст}$	—	Поверхность стен
χ	—	Степень экранирования топки
ζ	—	Коэффициент, учитывающий загрязнение лучевоспринимающих поверхностей
$H_{л}$	$м^2$	Лучевоспринимающая поверхность
s	$м$	Эффективная толщина газового слоя
$d, d_{вн}$	$мм, м$	Наружный и внутренний диаметры
$d_в$	" "	Эквивалентный диаметр
s_1, s_2, s'_2	" "	Поперечный, продольный и диагональный шаги труб
$F и f$	$м^2$	Живое сечение для прохода газов и пара (воды)
$H_{поп} и H_{пр}$	"	Части поверхности нагрева, омываемые поперечным и продольным потоками
$F_{поп} и F_{пр}$	"	Живые сечения для поперечного и продольного потоков

ПРИЛОЖЕНИЕ II

КРАТКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ ТОПОЧНЫХ УСТРОЙСТВ И ПОВЕРХНОСТЕЙ НАГРЕВА

Настоящие рекомендации распространяются на топочные устройства и поверхности нагрева стационарных котельных агрегатов. Они базируются на широком опыте проектирования, исследования и эксплуатации котельных агрегатов на разных топливах. Отступления от них допускаются, но должны быть обоснованы опытными данными или соответствующими технико-экономическими расчетами.

А. ТОПОЧНЫЕ УСТРОЙСТВА

а) Общие положения

Выбор типа топочного устройства определяется паропроизводительностью и конструкцией котельного агрегата, физико-химическими свойствами топлива и его золы.

1. Камерные топки для сжигания жидких и газообразных топлив применяются в котельных агрегатах любой производительности, а для пылевидных твердых топлив — в котельных агрегатах производительностью от 25 т/ч и более. Сжигание антрацитовых штыбов, полуантрацитов и тощих углей в виде пыли рекомендуется в топках котлов паропроизводительностью выше 75 т/ч, фрезерного торфа — 25 т/ч и более.

Для сжигания фрезерного торфа под котлами производительностью от 2,5 до 25 т/ч можно применять пневматические топки ЦКТИ системы Шершнева.

При сжигании шлакоудалителей с легкоплавкой золой, а также низкорекреационных топлив, имеющих благоприятные температурные и вязкостные характеристики золы и шлака, следует использовать топки с жидким шлакоудалением. Средняя температура вытекающего шлака при минимальной нагрузке должна быть выше температуры истинно жидкого его состояния t_0 , а вязкость шлака — не выше 400—500 лз. При одинаково надежной работе топок с твердым и жидким шлакоудале-

нием выбор типа топки нужно производить на основании технико-экономических расчетов.

Для сжигания твердых топлив, имеющих благоприятные температурные и вязкостные характеристики золы, можно рекомендовать различные типы топок с жидким шлакоудалением (открытые, полуоткрытые, циклонные и др.). При этом следует учитывать, что горизонтальные циклонные топки используются для бурых и каменных углей, содержащих больше 15% летучих, а топки с вертикальными предтопками — для сжигания всех твердых топлив. При выборе топочного оборудования и способа сжигания следует руководствоваться исправленной величиной выхода летучих $V_{испр}^r$ (п. 2-24).

2. Слоевые топки целесообразно применять для паровых котлов паропроизводительностью до 35 т/ч при сжигании грохоченых и рядовых углей (содержание мелочи 0—6 мм не более 60% и выход летучих на горючую массу $\geq 20\%$), сортированных антрацитов и полуантрацитов, кускового торфа, сланца и различных древесных отходов. В отдельных случаях они могут оказаться экономически оправданными и для котлов паропроизводительностью более 35 т/ч.

Не рекомендуется использовать слоевые топки для сжигания антрацитового штыба, рядовых антрацитов, тощих, а также высоковлажных бурых углей с $W^p > 14$, фрезерного торфа и отходов углеобогащения, так как при этом не обеспечивается надежное и экономичное сжигание топлива.

При выборе типов слоевых топок следует учитывать необходимость максимальной механизации всех рабочих процессов (загрузки топлива, шуровки, удаления огазовых остатков). Топки с ручным обслуживанием могут применяться для котлов производительностью не более 1 т/ч.

Для сжигания каменных и бурых углей под котлами паропроизводительностью от 6,5 т/ч и выше рекомендуются слоевые топки с пневмомеханическими забрасывателями и цепной решеткой обратного хода, для сжига-

Таблица II-1

Тепловое напряжение сечения топочной камеры	Топливо	Расположение и тип горелок		
		фронтальное, вихревые или прямоточные	встречное, вихревые или прямоточные	угловое, щелевые
Многоярусное расположение горелок	Общее q_F , Гкал/(м ² ·ч)	Шлакующие каменные и бурые угли	3,0	3,0 при $D \leq 950$ м/ч 3,5 при $D \leq 1600$ м/ч 3,5—4,0 при $D > 1600$ м/ч
		Нешлакующие угли (типа экибастузского)	4,0	5,5
		Сланцы северо-западных месторождений	1,5	2,0
		Фрезерный торф	2,5	—
		АШ	2,0	2,5
	На один ярус горелок $q_{F,я}$, Гкал/(м ² ·ч)	Шлакующие каменные и бурые угли	1,0	1,3
		Нешлакующие угли (типа экибастузского)	1,5	2,0
		Сланцы северо-западных месторождений	0,8	1,0
Одноярусное расположение горелок	Общее $q_{F,к}$, Гкал/(м ² ·ч)	Шлакующие каменные и бурые угли	1,5	2,0—2,5*
		Нешлакующие угли (типа экибастузского)	2,5	3,0

* При применении плоскопараллельных горелок со смещенным расположением.

П р и м е ч а н и е. Приведенные выше величины являются ориентировочными и уточняются с учетом опыта работы котлоагрегатов.

ния антрацитов марок АС и АМ — топки с цепными решетками прямого хода.

Для сжигания каменных и бурых углей, а также грохоченых антрацитов марок АС и АМ под котлами паропроизводительностью менее 6,5 т/ч рекомендуется использовать топки с пневмомеханическими забрасывателями и неподвижной решеткой с опрокидными колосниками.

Каменные и бурые угли под котлами паропроизводительностью 10 т/ч и более можно также сжигать в слоевых топках с низконапорными пневматическими забрасывателями и цепной решеткой прямого хода.

Для сжигания сланцев под котлами паропроизводительностью до 20 т/ч допускается применение топок с наклонно-переталкивающими решетками.

Кусковой торф целесообразно сжигать в шахтных топках с неподвижной наклонной колосниковой решеткой котлов производительностью 6,5 т/ч и менее и в шахтно-цепных топках с предтопками котлов более высокой производительности.

Древесные отходы можно сжигать в шахтных топках с неподвижной наклонной колосниковой решеткой под котлами $D \leq 10$ т/ч и в комбинированных шахтно-цепных топках под котлами большей производительности.

Кроме того, используются высокофорсированные топки скоростного горения ЦКТИ системы В. В. Померанцева, при этом требуется предварительное измельчение топлива до 50—100 мм. Для этих топок при $W_p \leq 50\%$ паропроизводительность котла принимается равной 5,0 т/ч на 1 м ширины топки в свету. При $W_p > 55\%$ следует устанавливать сушилки для подсушки топлива по разомкнутому циклу.

б) Камерные топки для сжигания твердых топлив

3. Температура газов на выходе из топочной камеры выбирается из условий предупреждения шлакования последующих поверхностей нагрева.

При размещении ширм в верхней части топки температура на входе в них для шлакующих топлив принимается не выше 1200 °С, для нешлакующих (типа экибастузского угля) — не выше 1250 °С, для сильно шлакующих бурых углей (типа канско-ачинских) и сланцев — не выше 1100 °С.

Температура газов перед фестом или фестонированной частью конвективного пакета, расположенного в верхнем горизонтальном газоходе, принимается не выше значений, приведенных ниже.

Топливо	Температура газов, °С
Антрацитовый штыб (АШ), полуантрациты (ПА) и тощие угли (Т)	1050
Донецкий ГСШ	1000
Кизеловский Г и отсева	1050
Кемеровский СС	1050
Томь-Усинский (открытые разработки)	1050
Подмосковный Б	1000
Ангренский Б	950
Канско-ачинские Б (ирша-бородинский, назаровский, березовский)	950
Фрезерный торф	950
Сланцы северо-западных месторождений	900

Для других топлив температура газов в этом сечении принимается равной температуре начала деформации золы (табл. I), но не выше 1100 °С. В фестонированной части конвективного пакета (фестона) газы должны охлаждаться не менее чем на 50 °С.

Температура газов перед конвективными пучками, расположенными в опускной шахте, принимается не выше следующих величин:

Топливо	Температура, °С	
	шахматный пучок	коридорный пучок
Шлакующее	800*	850
Нешлакующее	900	950
Сланцы северо-западных месторождений	600	700

* При больших промежутках между трубами $s_1 - d \geq 100$ мм и $s'_1 - d \geq 100$ мм допускается температура 850 °С.

4. Для предотвращения усиленного шлакования экранов топочной камеры тепловое напряжение ее сечения $q_F = BQ_{\text{п}}/F_T$ (определяется по сечению в районе горелок) рекомендуется принимать не выше следующих величин:

а) для жидкого шлакоудаления при сжигании АШ, ПА и Т — $4,5 \cdot 10^6$ ккал/(м²·ч), каменных и бурых углей — $5,5 \cdot 10^6$ ккал/(м²·ч);

б) для твердого шлакоудаления максимально допустимое тепловое напряжение сечения топочной камеры дается в зависимости от свойств топлива, типа и компоновки горелок в табл. II-1.

5. Рекомендуемые типы горелок в зависимости от рода сжигаемого топлива и способа шлакоудаления приведены в табл. II-2.

Для вертикальных предтопок и горизонтальных циклонов, а также для двухкамерных топок применяются специальные лопаточные, улиточные и щелевые горелки. Для сжигания твердого и жидкого топлив или твердого топлива и газа камерные топки оборудуются комбинированными горелками. Одновременное сжигание пыли с жидким или газообразным топливом в одних и тех же горелках не допускается, ибо сопровождается

Таблица II-2

Тип и компоновка горелок	Топливо
Вихревые; встречное или фронтальное расположение	Все топлива, кроме фрезерного торфа
Щелевые прямооточные; тангенциальное расположение	Все топлива
Прямоточные; встречное расположение	Каменные и бурые угли
Прямоточно-улиточные; встречное или фронтальное расположение	Все топлива при жидком шлакоудалении (при $D \leq 320$ м/ч) и каменные угли при твердом шлакоудалении
Прямоточные с горизонтальными рассекающими; встречное или фронтальное расположение	Бурые угли
Горелки с плоскопараллельными струями; встречное или фронтальное расположение	Каменные и бурые угли, фрезерный торф и сланцы
Эжекционные амбразуры	Бурые угли и фрезерный торф (при $D \leq 220$ м/ч)
Амбразуры с горизонтальными рассекающими	Фрезерный торф (при $D \leq 220$ м/ч)

повышенными потерями от механического недожога и снижает надежность работы котлоагрегата.

6. Количество горелок в зависимости от их типа и расположения в топке котлов разной мощности рекомендуется выбирать по табл. II-3а (для АШ, ПА и Т) и II-3б (для каменных и бурых углей).

7. Относительные расстояния между горелками разных типов в зависимости от их расположения, а также от горелок до ограждающих поверхностей указаны в табл. II-4.

Глубина топki с жидким шлакоудалением при фронтальном и встречном расположении вихревых горелок принимается равной $(5 \div 7)d_a$ (меньшее значение — для горелок мощностью 60 Гкал/ч).

Глубина топki с твердым шлакоудалением с вихревыми и тангенциальными щелевыми горелками определяется в зависимости от принятой величины q_F на I ярус, их компоновки и мощности.

8. Скорости пылевоздушной смеси w_1 , вторичного w_2 и сбросного воздуха на выходе из горелок при номинальной паропроизводительности котельного агрегата выбираются по данным табл. II-5.

9. При сжигании углей марок АШ и ПА для интенсификации воспламенения пыли целесообразно пыль в топку транспортировать горячим воздухом, а сушильный агент из мельничной системы подавать через сбросные горелки. Рекомендуемая скорость сбросного воздуха в горелках указана в табл. II-5.

Размещение сопел для сброса сушильного агента зависит от конструкции топki и рода топлива. В однокамерной топке при встречном и угловом расположении горелок (при соотношении сторон топki, меньшем или равном 1,3) сопла сброса целесообразно устанавливать по углам, по тангенциальной схеме (диаметр центрального круга касания осей сопел равен 1—1,5 м). При соотношении сторон топki больше 1,3 сопла рекомендуется размещать над каждой из основных горелок верхнего ряда. Расстояние по высоте между нижней кромкой сопла сброса и верхней кромкой горелки принимается равным d_a для вихревых и $2b$ — для прямооточных горелок. При фронтальном расположении горелок сопла сброса устанавливаются на задней стене топki на уровне верхних горелок. В полукоткрытой топке с пережимом при сжигании низкорективных топлив (АШ, ПА, Т) сопла

Таблица II-3а

Паропроизводительность котла, т/ч	Тип горелок и их расположение при сжигании АШ, ПА и Т		
	вихревые		прямоточные ¹
	фронтальное	встречное	тангенциальное ²
75	2—3	2—4	4
120	4	4	4
220	4—6	4—6	4
320	8	8	16 ³
420	8	8	16 ³
640	—	8—16	16 ³
950	—	12 ⁴	16—24 ²
1 600	—	16 ⁴	—
2 650	—	24 ⁴	—

¹ Двухпоточная горелка считается как одна.

² Возможность применения тангенциально расположенных прямооточных горелок для котлов $D \geq 950$ м/ч должна быть подтверждена опытами. Количество горелок определяется по числу пылепроводов.

³ В топках с двумя вихрями.

⁴ Допустимость использования меньшего числа более мощных горелок требует опытной проверки.

Таблица II-36

Паропроизводительность котла, т/ч	Тип и расположение горелок при сжигании каменных и бурых углей									
	вихревые				прямоточные					
	фронтальное		встречное		фронтальное		встречное		тангенциальное	
	жидкое шлакоуда- ление	твердое шлакоуда- ление ¹	жидкое шлако- удаление	твердое шлако- удаление ¹	жидкое шлако- удаление	твердое шлако- удаление	жидкое шлако- удаление	твердое шлако- удаление	жидкое шлако- удаление	твердое шлако- удаление
75	2—3	2—3	2—4	4	—	2	—	—	4	4
120	4	4	4	4—6	—	2—3	—	—	4	4
220	4—6	4—6	4—6	4—6	—	3—4	—	8—10	4	8
320	8	8—12	6—8	6—8	—	4—5	—	10—12	8—16 ²	8—16 ²
420	8—12	8—12 ³	8	8—12	—	5—6	8—10	12—16	8—16 ²	8—16 ²
640	—	—	8—16	12—16	—	8—10	10—12 ⁴	16—18 ⁴	16 ²	16—24 ²
950	—	—	8 ⁵ —16	16—24	—	—	—	—	16—24 ²	24—32 ²
1 600	—	—	12 ⁵ —16	24—32	—	—	—	—	—	24—32 ²
2 650	—	—	16 ⁵ —24	32—48	—	—	—	—	—	32—48 ²
3 600	—	—	24 ⁵ —36	48—64	—	—	—	—	—	48 ²

¹ Меньшее количество горелок допускается для нешлакующих углей типа экибастузского.

² В топках с двумя вихрями.

³ Допустимо фронтальное расположение горелок в топках с твердым шлакоудалением котлов $D \leq 1600$ т/ч, сжигающих каменные угли типа экибастузского.

⁴ Встречное расположение прямоточных горелок может применяться для котлов паропроизводительностью > 640 т/ч лишь после опытной проверки.

⁵ Допустимость использования этих горелок требует опытной проверки.

Таблица II-4

Наименование	Относительное расстояние	Наименование	Относительное расстояние
Вихревые горелки при встречном и фронтальном расположении	l/d^*	Между осями горелок по горизонтали:	
От оси нижнего ряда горелок до начала ската воронки		при однорядном расположении	2,2—2,4
при жидком шлакоудалении:		при коридорном расположении (в два ряда и более) и жидком шлакоудалении	2,5—3,0
при коридорном расположении	1,8—2,0	то же при твердом шлакоудалении	3,0—3,5
при расположении по треугольнику вершиной вниз на боковых стенах	0,8—1,0	Между осями горелок по вертикали при коридорном расположении	Равно шагу по горизонтали
при твердом шлакоудалении	2,0—2,5	при расположении по треугольнику вершиной вниз на боковых стенах	Равно 0,7 горизонтального шага
От оси крайней горелки до прилегающей стены		Прямоточные горелки при тангенциальном расположении	l/b^*
при жидком шлакоудалении:		От нижней кромки нижнего ряда горелок до начала ската воронки:	
при однорядном расположении горелок	1,6—1,8	при жидком шлакоудалении	1,5—2,5**
при двухъярусном расположении горелок	2,0—2,2	при твердом шлакоудалении	4—5
при твердом шлакоудалении	Равно расстоянию между осями горелок по горизонтали		

* l —расстояние, d —соответственно диаметр амбразуры и ширина горелки.

** Меньшие из приведенных значений—для высокореактивных топлив.

сброса помещаются в камере горения над каждой из основных горелок верхнего яруса. При сжигании бурых и каменных углей в полуоткрытых топках с жидким шлакоудалением сопла сброса можно устанавливать при сушке топлива газами в пережиге камеры сгорания, при сушке воздухом—над основными горелками. Сопла сброса наклонены вниз на $10—15^\circ$. В топке с вертикальными предтопками они размещаются на противополож-

ной стене топки, против места выхода газов из предтопок, в виде вертикальных щелей с отношением сторон $1:8—1:10$.

10. Скорости в амбразурах и соплах шахтно-мельничных топков выбираются по данным табл. II-6.

Амбразуры следует располагать как можно ближе к холодной воронке. Минимальное расстояние от боковой грани крайних амбразур до прилегающих стен

Таблица II-5

Тип горелок	Тепловая мощность горелок, Гкал/ч	Антрацитовый штыб и тощие угли			Каменные и бурые угли		
		w_1 , м/сек	w_2 , м/сек	w_2/w_1	w_1 , м/сек	w_2 , м/сек	w_2/w_1
Двухулиточные	20	14—16	18—21	1,3—1,4	20—22	26—28	1,3—1,4
	30	14—16	18—21	1,3—1,4	22—24	28—30	1,3—1,4
	45	16—18	22—25	1,3—1,4	22—24	28—30	1,3—1,4
	65	18—20	26—30	1,4—1,5	24—26	30—34	1,3—1,4
Прямоточно-улиточные	20	14—16	17—19	1,2—1,3	18—20	22—25	1,2—1,3
	30	14—16	17—19	1,2—1,3	18—20	22—25	1,2—1,3
	30	18—20	25—28	1,3—1,4	22—24	30—34	1,3—1,4
	45	18—20	25—28	1,3—1,4	22—24	30—34	1,3—1,4
Улиточно-лопаточные	45	18—20	25—28	1,3—1,4	24—26	34—36	1,4—1,5
	65	20—22	28—30	1,4—1,5	24—26	36—42	1,5—1,6
	20	18—20	28—30	1,5—1,6	24—26	42—48	1,6—1,7
	30	18—20	29—32	1,6—1,7	26—28	48—50	1,6—1,7
Прямоточные ¹	45	20—22	34—37	1,6—1,7	28—30	48—50	1,6—1,7
	20	—	—	—	15—20	40	2—2,5
	45	—	—	—	15—20	50—60	3—3,3
	20	26—28	30—34	1,2—1,3	27—29	42—45	1,5—1,6
Прямоточные с центральным или с односторонним вводом вторичного воздуха ¹	30	27—29	32—36	1,2—1,3	28—30	46—48	1,6—1,7
	45	28—30	36—38	1,3—1,4	29—31	48—50	1,6—1,7
	20	—	—	—	22—24	32—34	1,4
	30	—	—	—	24—26	34—36	1,4
Многощелевые, межтрубные поточные для двухкамерных топок	45	—	—	—	24—26	34—36	1,4
	20—30	—	—	—	24—30	32—45	1,3—1,5
	50	20 ³	60—70 ³	3,0—3,5	30 ⁴	60—70 ³	2,0—2,3
	100	20	60—70	3,0—3,5	30	60—70	2,0—2,3
Встречно-смещенные (ВВС)	140	20	60—70	3,0—3,5	30	60—70	2,0—2,3
	50	—	—	—	23—25	130—150 ³	5,5—6,0
	75	—	—	—	23—25	130—150	5,5—6,0
	100	—	—	—	23—25	130—150	5,5—6,0
Двухулиточные для горизонтальных циклонов (дробленка)	50	—	—	—	20—22	100—120 ³	5—6
	75	—	—	—	20—22	100—120	5—6
	100	—	—	—	20—22	100—120	5—6
	50	—	—	—	20—22	100—120	5—6
Прямоточные для горизонтальных циклонов (грубая пыль)	75	—	—	—	20—22	100—120	5—6
	100	—	—	—	20—22	100—120	5—6
	—	—	—	—	20—22	100—120	5—6
	—	—	—	—	20—22	100—120	5—6
Сбросные сопла	—	—	—	—	35—45	—	—

¹ При угловой компоновке горелок.

² Для бурых углей.

³ Скорость в щлицах.

⁴ Скорость в живом сечении между лопатками.

должно быть не менее 400 мм. При тесном размещении мельниц рекомендуется крайние мельницы и горелки установить с поворотом осей внутри топки до 15°. При амбразурах с рассекателями для фрезерного торфа сопла вторичного воздуха помещаются над и под амбразурами: угол наклона верхних сопел вниз 45—55°, нижних вверх — 25—30°. Сопла вторичного воздуха на задней стене следует устанавливать на уровне амбразур горизонтально или с наклоном вниз до 15°.

11. Расход первичного воздуха в горелках при транспорте пыли горячим воздухом или сушильным агентом принимается по данным табл. II-7 и уточняется из расчета системы пылеприготовления.

При транспорте пыли горячим воздухом коэффициент избытка воздуха в горелках при номинальной нагрузке котельного агрегата должен составлять не менее $\alpha_r = 1,05$ от теоретически необходимого для полного сгорания поданного в горелки топлива.

в) Камерные топки для сжигания мазута и газа

12. Температура газов в конце топки при сжигании мазута и газа зависит от мощности котла и теплового напряжения объема топки (табл. XX) и выбирается на основании технико-экономических расчетов.

Температура газов перед горизонтальными пучками, расположенными в опускной шахте, для котельных агрегатов $D > 75$ т/ч принимается не выше 950—1000 °C

(меньшая величина при шахматных пучках) при сжигании мазута; перед вертикальными коридорными пучками или фестонированными шахматными допускается на уровне 1050—1100 °C.

13. В камерных топках для сжигания мазута и высококалорийных горючих газов (природного и попутного) для котельных агрегатов $D \geq 20$ т/ч применяются комбинированные газомазутные горелки при встречном, угловом и фронтальном расположении с центральной или периферийной подачей газа в воздух и установкой по оси мазутных механических или паромеханических форсунок. Для сжигания низкокалорийного доменного газа рекомендуется применять щелевые горелки со смешивающими кирпичными каналами и дожигательными тоннелями при встречной их установке на боковых или фронтальной и задней стенах топки, а также вихревые и комбинированные горелки.

Расстояние между осями горелок по вертикали (при коридорном их расположении) и по горизонтали должно быть $(2,5 \div 3,0) d_a$; от оси горелки до боковой стены топки $(3,0 \div 3,5) d_a$; от оси горелки до пода не менее $3 d_a$.

14. Скорость воздуха в узком сечении принимать в пребинированных горелках рекомендуется принимать в пределах 40—70 м/сек при номинальной производительности котла; меньшие значения — для горелок меньшей производительности, большие — для наиболее мощных горелок.

Таблица II-6

Тип горелки	Топливо	Скорость, м/сек				
		аэросмеси	вторичного воздуха			дутья из хо- лодной ворош- ки ²
			в горелках	в соплах амбразур		
				верхней пря- ди ¹	нижней пря- ди ¹	
Эжекционные амбразуры ³	Сланец	3,5—5	—	15—25	25—35	—
	Бурый уголь	4—5	—	15—25	25—35	—
	Каменный уголь с $V_T \geq 30\%$	—	—	15—25	25—35	—
Горелки с плоскими па- раллельными струями ⁴	Фрезерный торф	4—6	—	20—30	30—40	12
	Бурый уголь и фрезер- ный торф	8—15	30—60	—	—	—
	Амбразуры с горизонталь- ными рассекателями	4—6	25—30	—	—	—

¹ Меньшие значения скоростей принимаются для котлов малой производительности.

² В наиболее узком ее сечении.

³ Соотношение площадей живых сечений сопел и незагроможденной части эжекционной амбразуры должно составлять: 0,1—для бурых углей и фрезерного торфа, 0,2—для каменных углей.

⁴ Скорость выхода аэросмеси и вторичного воздуха из горелки после смешения 15—35 м/сек при $D=75-320$ т/ч.

15. Скорость выхода воздуха и доменного газа из воздушных и газовых каналов щелевых горелок со смешительными кирпичными каналами и дожигательными тоннелями, а также из вихревых комбинированных горелок принимается в пределах 25—35 м/сек при номинальной нагрузке.

16. Для обеспечения нормальной работы мазутных форсунок мазут необходимо подогревать до температуры, обеспечивающей требуемую его вязкость (рис. 3-2).

Для механических и паромеханических форсунок рекомендуется вязкость топлива 2,5° УВ (условной вязкости).

Для паровых форсунок расход пара на распыливание составляет 0,3—0,35 кг/кг.

17. Суммарное тепловое напряжение сечения топki при сжигании мазута должно быть не более $8 \cdot 10^6$ ккал/(м²·ч) и на ярус — не более 3×10^6 ккал/(м²·ч).

18. Для снижения тепловых нагрузок экранов в котлах СКД при сжигании мазута рекомендуется применять рециркуляцию газов в нижнюю часть топki (или на уровне горелок) и устанавливать горелки в несколько ярусов.

Таблица II-7

Топливо	Расход первичного воздуха, %, теоретически необходимого на горение при транспорте пыли	
	горячим воздухом*	сушильным агентом
АШ, полуантрациты и тощие угли	15—20	20—25
Каменные угли	20—25	25—35
Бурые угли	20—25	45—55

* При промбункере.

Примечания: 1. При сушке топлива газами или смесью газов и воздуха количество воздуха в сушильном агенте за мельницей должно составлять не менее 0,15V°.

2. Температура аэросмеси для углей с $V^r > 35\%$ не должна превышать 160 °С.

г) Топки для слоевого сжигания топлива

19. Длина неподвижной колосниковой решетки при механизированной загрузке топлива должна быть не более 3,0, при ручной — не более 2,0 м.

20. Топки с пневмомеханическими забрасывателями рекомендуется, как правило, выполнять открытыми (без сводов). Если конструкция котла требует устройства наклонного заднего свода, то его следует устанавливать на высоте не менее 1,6 м от решетки с подъемом в сторону передней стены под углом не менее 40°.

21. Топочная камера слоевых топok с цепной решеткой прямого хода (при поступлении топлива через угольный ящик) должна иметь низко опущенный задний наклонный свод (на расстоянии 0,5—0,6 м от колосникового полотна до нижней точки свода), перекрывающий 60—70% активной длины решетки. При необходимости, учитывая условия компоновки переднего свода, его располагают на высоте не менее 1,5 м от решетки.

22. В топках скоростного горения для древесных отходов толщина вертикального слоя топлива в активной зоне регулируется передвижной ступенью. Оптимальная толщина зависит от гранулометрического состава и влажности древесных отходов и находится в пределах 150—500 мм.

23. Для обеспечения перемешивания продуктов сгорания в слоевой топке и снижения потерь с уносом топлива рекомендуется применять острое дутье со стороны задней стены и возвращать в топку унос из зольников котла и золоуловителя (из первой ступени — при наличии двух-трех ступеней золоулавливания).

При сжигании антрацита острое дутье необходимо подавать в пережиме топki, в направлении от заднего свода к передней стене. Количество воздуха, подаваемого для острого дутья, должно составлять: для котельных агрегатов $D \leq 20$ т/ч не более 5%; при $D \geq 20$ т/ч — не более 10% теоретически необходимого количества воздуха.

24. В топках скоростного горения для древесных отходов сопла вторичного дутья размещаются на задней стене топki, у пода; количество вторичного воздуха составляет 20—25% теоретически необходимого, скорость выхода воздуха из сопел 30—50 м/сек.

Б. ПОВЕРХНОСТИ НАГРЕВА

Ниже изложены рекомендации по выбору основных расчетных параметров котельного агрегата: температуры уходящих газов и воздуха, скорости газов в поверхностях нагрева и их геометрических характеристик. Даны рекомендации по проектированию конвективных поверхностей нагрева, регулированию перегрева пара, обеспечению надежной работы воздухоподогревателей и т. д.

а) Общие положения

1. Температура уходящих газов за котлоагрегатом выбирается по условию эффективного использования тепла топлива и расхода металла на хвостовые поверхности нагрева. Для мощных котлов она находится на более низком уровне, чем для агрегатов небольшой производительности.

В табл. II-8 приведены рекомендуемые значения экономически наиболее выгодных температур уходящих газов для котельных агрегатов $D > 75$ т/ч при сжигании твердых и жидких топлив в зависимости от температуры питательной воды и стоимости условного топлива a (руб/т усл. топлива). Для их обеспечения необходимо принимать меры по защите воздухоподогревателя от низкотемпературной коррозии при температурах металла ниже точки росы дымовых газов.

Температура точки росы дымовых газов t_p зависит от температуры конденсации влаги $t_{кон}$ при парциальном ее давлении в газах и приведенного содержания серы в рабочем топливе $S^п$ и равна $t_p = t_{кон} + \Delta t_p$; величина Δt_p в зависимости от приведенных содержаний золы и серы топлива $A^п$ и $S^п$ определяется по формуле

$$\Delta t_p = 125 \sqrt{S^п} / 1,05^{a_{уп} A^п}.$$

На рис. II-1 приведены кривые для определения Δt_p при $a_{уп} = 0,85$.

Для полного исключения коррозии поверхности нагрева при отсутствии специальных мер защиты температура металлической стенки должна быть примерно на 10° выше температуры точки росы дымовых газов, однако это приведет к значительному превышению температур уходящих газов над экономическими их значениями, указанными в табл. II-8.

При сжигании сернистых топлив перспективным средством, предупреждающим возникновение коррозии в зоне коррозионноопасных температур, является покрытие кислотостойкой эмалью поверхностей нагрева воздухоподогревателей. Для этой цели наиболее пригодны воздухоподогреватели регенеративные (вращающиеся) и с промежуточным теплоносителем.

При эмалировании трубчатых воздухоподогревателей рекомендуется заменить приварку труб к трубным доскам (она разрушает эмаль) уплотнением их с по-

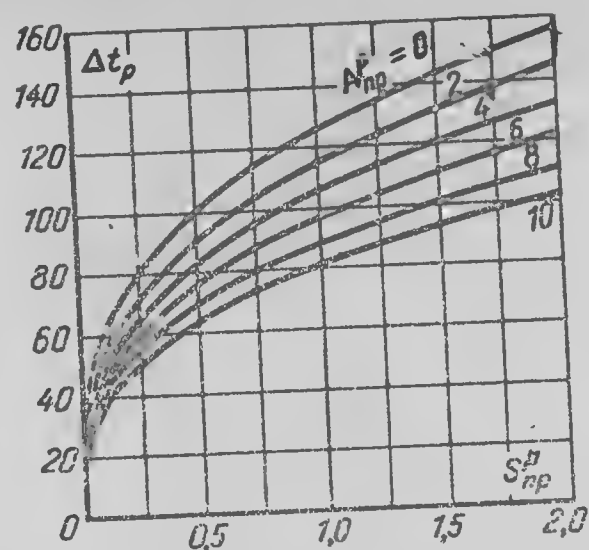


Рис. II-1. Разность температур точки росы дымовых газов и конденсации водяных паров в них.

мощью бетона (газ в воздухоподогревателях может проходить как в трубах, так и снаружи).

Перспективным является также применение поверхности нагрева «холодной» ступени из неметаллических, коррозионностойких материалов (керамика, стекло и др.); эти конструкции находятся в стадии разработки и промышленной проверки.

При сжигании сернистых твердых топлив возможно достичь невысоких температур уходящих газов при незначительных коррозионных разрушениях, используя поверхности с температурами стенки $t_{ст}$ в холодной части воздухоподогревателя в следующем интервале:

$$t_{кон} + 25 < t_{ст} < 105^\circ \text{C}. \quad (\text{II-1})$$

При выполнении этого условия скорость коррозии не превысит $0,2$ мм/год.

Не рекомендуется допускать температуру стенки поверхности нагрева ниже $t_{кон} + 25^\circ \text{C}$ из-за усиленной коррозии и загрязнения. При температуре стенки от 110°C до t_p скорость коррозии недопустимо велика.

Для обеспечения температуры стенки в рекомендованных выше пределах можно применять в зоне низких температур воздухоподогреватели с промежуточным теплоносителем, газовые испарители и низкотемпературные экономайзеры. Преимущество воздухоподогревателей с промежуточным теплоносителем в том, что сквозное коррозионное повреждение какой-либо трубы только ее и выключает из работы.

В случаях, когда вышеперечисленные мероприятия для снижения скорости коррозии не выполнены, необходимо обеспечить возможность легкой замены в эксплуатации отдельных корродирующих кубов или паке-

Таблица II-8

Топливо (приведенная влажность)	$t_{п.в.} = 150^\circ \text{C}$		$t_{п.в.} = 215 \div 235^\circ \text{C}$		$t_{п.в.} = 265^\circ \text{C}$	
	$a = 4 \div 7$	$a = 12 \div 20$	$a = 4 \div 7$	$a = 12 \div 20$	$a = 4 \div 7$	$a = 12 \div 20$
Сухое $W^п \leq 3$	110—120	110	120—130	110	130—140	110—120
Влажное $W^п = 4 \div 20$	120—130	110—120	140—150	120—130	150—160	130—140
Сильно влажное $W^п > 20$	130—140	—	160—170	—	170—180	—

Примечания: 1. При отклонении оптимальной температуры подогрева воздуха от требуемой по условиям сушки и горения рекомендуется провести технико-экономические расчеты для выбора температуры уходящих газов.
2. Здесь приведены данные для котельных агрегатов с замкнутой системой пылеприготовления. При размытых системах без изменения схемы хвостовых поверхностей нагрева можно руководствоваться табл. II-8 применительно к приведенной влажности сушенки.

тов воздухоподогревателя и изготавливать их с утолщенной стенкой для увеличения срока службы.

Температура воздуха на входе в воздухоподогреватель при сжигании твердых сернистых топлив должна приниматься не ниже температуры конденсации влаги $t_{\text{кон}}$.

Для полного исключения возможности коррозии при сжигании мазутов с нормальными избытками воздуха (температура точки росы 140—145 °С) температура металлической стенки должна приниматься: при поперечном омывании труб газами — не ниже 155 °С, при продольном (воздухоподогреватели) — не ниже 125 °С. При температуре уходящих газов на уровне 150 °С для полного исключения коррозии воздухоподогревателя температура воздуха на входе должна быть не ниже 110—100 °С при отсутствии специальных мер защиты, что вызовет значительное снижение температурного напора и, следовательно, увеличение поверхности нагрева воздухоподогревателя. Поэтому при установке в холодных ступенях воздухоподогревателей сменяемых кубов или сменяемой набивки допускаются следующие значения температуры входящего воздуха: в трубчатых воздухоподогревателях — 80—90 °С, в регенеративных — 60—70 °С.

При сжигании мазута с избытками воздуха на выходе из топки $\alpha_t = 1,02 \div 1,03$ и выполнении условий, указанных в примечании 3 табл. XX, температура стенки воздухоподогревателя может быть снижена примерно до 85 °С, уходящих газов — примерно до 120 °С. При этом температура входящего воздуха, по условию предупреждения возможности забивания холодной ступени воздухоподогревателя, должна быть не ниже 50 °С.

Кардинальным решением задачи предотвращения коррозии воздухоподогревателей и последующих элементов мазутных котлов является сжигание мазута с малыми избытками воздуха с одновременным эмалированием холодной части воздухоподогревателя.

При температуре уходящих газов ниже t_p необходимо также защищать от коррозии газовый тракт после воздухоподогревателя.

Для предварительного подогрева воздуха перед входом в воздухоподогреватель должны устанавливаться водяные или паровые калориферы, обогреваемые отборным паром из турбины.

Для котлов небольшой производительности ($D \leq 75$ т/ч) температуру уходящих газов рекомендуется определять в зависимости от температурных напоров на холодном конце экономайзера (между температурами газов и питательной воды) и на горячем конце воздухоподогревателя (или его холодной ступени). Оптимальный температурный напор на холодном конце экономайзера принимается в зависимости от числа часов использования в году установки (n , ч/год) и стоимости тонны условного топлива (a , руб/т усл. топлива).

$\Delta t_{\text{эк}} = 30 \div 50$ °С при $na = 100 \cdot 10^3 \div 50 \cdot 10^3$ ч · руб/(год × т усл. топлива);

$\Delta t_{\text{эк}} = 50 \div 80$ °С при $na = 50 \cdot 10^3 \div 10 \cdot 10^3$ ч · руб/(год × т усл. топлива) (при большем na меньше $\Delta t_{\text{эк}}$).

При установке к котлам низкого давления воздухоподогревателя оптимальный температурный напор на горячем конце принимается равным:

$\Delta t_{\text{в}} = 35 \div 70$ °С при $na = 100 \cdot 10^3 \div 50 \cdot 10^3$ ч · руб/(год × т усл. топлива);

$\Delta t_{\text{в}} = 70 \div 140$ °С при $na = 50 \cdot 10^3 \div 10 \cdot 10^3$ ч · руб/(год × т усл. топлива) (при большем na меньше $\Delta t_{\text{в}}$).

Для котлов низкого давления с хвостовыми поверхностями нагрева температура уходящих газов должна быть не ниже значений, указанных в табл. II-9; оптимальное ее значение выбирается на основе технико-экономических расчетов.

В котлах низкого давления воздухоподогреватели устанавливаются перед чугунными экономайзерами (при их наличии).

Таблица II-9

Топливо	$\vartheta_{\text{ух}}$, °С
Угли с приведенной влажностью $W^p \leq 3$ и природный газ	120—130
Угли, $W^p = 4 \div 20$	140—150
Мазут	150—160
Торф и древесные отходы	170—190*

* При установке воздухоподогревателя.

2. Рекомендуемая температура подогрева воздуха при камерном сжигании для котельных агрегатов $D > 75$ т/ч приведена в табл. II-10.

Если по условиям сушки или сжигания топлива высокий подогрев воздуха не требуется, целесообразно устанавливать одноступенчатый воздухоподогреватель. В этом случае оптимальная температура воздуха в зависимости от температур питательной воды и уходящих газов ориентировочно определяется по формуле

$$t_{\text{опт.в}} = t_{\text{п.в}} + 40 + 0,7(\vartheta_{\text{ух}} - 120), \text{ °С.} \quad (\text{II-2})$$

Найденную величину необходимо проверить по условиям сушки топлива при максимальной его влажности.

Таблица II-10

Характеристика топki и схемы пылеприготовления	Сорт топлива	Температура воздуха, °С
Топки с твердым шлакоудалением при замкнутой схеме пылеприготовления и воздушной сушки Топки с жидким шлакоудалением, в том числе с горизонтальными циклонами и вертикальными предтопками, при сушке топлива воздухом и подаче пыли горячим воздухом или сушильным агентом	Каменные и тощие угли	300—350
	Бурые угли, фрезерный торф	350—400*
	Сланцы	250—300
	АШ, ПА, бурые угли	380—400
	Каменные угли и донецкий тощий	350—400
При сушке топлива газами в замкнутой схеме пылеприготовления при твердом шлакоудалении	Бурые угли	300—350**
То же при жидком шлакоудалении	То же	350—400**
При сушке топлива газами в разомкнутой схеме пылеприготовления при твердом шлакоудалении	Для всех топлив	≤ 350
То же при жидком шлакоудалении	То же	350—400**
Камерные топki	Мазут и природный газ	250—300
	Доменный газ	250—300

* При высоковлажном торфе $W^p > 50\%$ принимают 400 °С.

** Больше значение — при высокой влажности топлива.

Таблица II-12

Уголь	$a, (мм \cdot сек^3)/(г \cdot ч)$
Подмосковный уголь, донецкий каменный, АШ	$14 \cdot 10^{-9}$
Экибастузский	$24 \cdot 10^{-9}$
Челябинский	$10 \cdot 10^{-9}$
Кизеловский	$9 \cdot 10^{-9}$

личин: $\tau = 60 \cdot 10^3$ ч; $I_{\text{макс}} = 2$ мм; $M = 1$; $k_D = 1,15$; $k_w = 1,25$; $k_\mu = 1,2$; $R_{90} = 20\%$.

Коэффициенты абразивности золы принимаются по табл. II-12.

При отсутствии данных о коэффициенте абразивности золы топлива в расчет вводится его величина, равная $a = 14 \cdot 10^{-9}$ (мм · сек³)/(г · ч).

В перегревателях предельно допустимая скорость газов проверяется по формуле (II-3) для труб, расположенных при температуре газов не выше 900 °С; при более высоких температурах абразивность золы значительно снижается и износ труб уменьшается.

Если износ не ограничивает скорость газов, то она выбирается по минимальным расчетным затратам. Для котлоагрегатов с уравновешенной тягой при стоимости 10–12 руб. за т усл. топлива экономические скорости газов для шахматных пучков при номинальной нагрузке агрегата ориентировочно составляют, м/сек:

в экономайзере (сталь 20)	13 ± 2
в промежуточном перегревателе (перлитная сталь) и в первичном (аустенитная сталь)	19 ± 2
в первичном перегревателе (перлитная сталь)	14 ± 2

Для коридорных пучков экономические скорости на 40% выше.

При предельных значениях стоимости топлива 4 и 20 руб/т усл. топлива величина $w_{\text{эк}}$ соответственно увеличивается или уменьшается на 10%; в котлах, работающих при наддуве, $w_{\text{эк}}$ увеличивается примерно на 10%.

4. Шаги труб в конвективных и ширмовых поверхностях нагрева рекомендуется принимать по данным табл. II-13.

Необходимо предусматривать очистку поверхностей нагрева котельных агрегатов, работающих на твердом топливе или мазуте.

Для очистки топочных экранов котлов, работающих на твердых топливах, применяются обдувочные аппараты; для очистки конвективных и ширмовых перегревателей и котельных пучков, расположенных в горизонтальном газоходе, — обдувочные аппараты или виброочистка.

В котельных агрегатах $D > 75$ т/ч для очистки конвективных поверхностей, расположенных в вертикальной шахте, при сжигании топлив, дающих плотные отложения (мазут, АШ, сланцы, назаровские угли и др.), должны применяться дробевые устройства.

Для обеспечения нормальной работы дробевых установок рекомендуется выполнять конвективную шахту постоянного сечения по всей ее высоте (первый по ходу газов пакет в конвективной шахте при П-образной компоновке следует располагать на расстоянии не менее 1 м от верхнего порога шахты).

Для очистки поверхностей нагрева вращающихся регенеративных воздухоподогревателей при сжигании твердых топлив применяются обдувочные аппараты «качающегося» типа. При сжигании сернистого мазута применяют паровые обдувочные аппараты «качающегося» типа, а также стационарные, в сочетании со стационарными промывочными устройствами.

При установке двухступенчатого воздухоподогревателя по формуле (II-2) определяется оптимальная температура воздуха за первой ступенью.

3. Минимальные скорости газов, по условию предотвращения заноса поверхностей нагрева, принимаются: при номинальной нагрузке — не ниже 6 м/сек для поперечно омываемых пучков и не ниже 8 м/сек — при продольном токе газов в трубчатых и регенеративных воздухоподогревателях.

Предельно допустимая по условиям золотого износа скорость газов на входе в первый пакет конвективной шахты (в суженном сечении между трубами¹) при номинальной нагрузке котла рассчитывается по формуле

$$w_r = \frac{2,85k_D}{k_w R_{90}^{0,2}} \left(\frac{I_{\text{макс}}}{a M \mu_{\text{зл}} k_\mu} \right)^{0,3} \left(\frac{s_1}{s_1 - d} \right)^{0,6}, \text{ м/сек.} \quad (\text{II-3})$$

Здесь k_w и k_μ — коэффициенты неравномерности полей скорости газов и концентрации золы. При П-образной компоновке принимают $k_w = 1,25$, $k_\mu = 1,2$; при повороте газов перед пакетом на 180° $k_w = 1,6$ и $k_\mu = 1,6$;

τ — срок службы труб, ч;

$\mu_{\text{зл}}$ — концентрация золы в газах в рассчитываемом сечении пакета:

$$\mu_{\text{зл}} = \frac{10 A p_{\text{ауш}}}{V_r} \frac{273}{\vartheta + 273}, \text{ г/м}^3; \quad (\text{II-3a})$$

$I_{\text{макс}}$ — максимально допустимый износ стенки трубы, мм;

$k_D =$

$= w_r^{\text{ном}} / w_{\text{ср}}$ — отношение расчетной скорости газов при номинальной нагрузке котельного агрегата к скорости газов при среднеэксплуатационной нагрузке; для котлоагрегатов $D \geq 120$ т/ч принимают $k_D = 1,15$; для $D = 50 \div 75$ т/ч $k_D = 1,4 \div 1,3$;

R_{90} — остаток золы на сите 90 мкм, %;

a — коэффициент абразивности золы в газовой среде, (мм · сек³)/(г · ч);

M — коэффициент истираемости металла труб; для углеродистых труб $M = 1$, для легированных $M = 0,7$.

В табл. II-11 приведены для типовых топлив расчетные значения предельно допустимой скорости газов² на входе в первый пакет конвективной шахты (в суженном сечении между трубами) при номинальной нагрузке для котельных агрегатов $D \geq 120$ т/ч, сухом шлакоудалении, различных шагах труб s_1/d и следующих значениях

Таблица II-11

Топливо	$w_r, \text{ м/сек}$	
	$s_1/d = 2,5$	$s_1/d = 4$
Подмосковный уголь	8,8	7,8
Антрацитовый штыб	11,5	10,0
Донецкий тощий	12,0	10,5
Челябинский уголь	10,0	9,0
Экибастузский уголь	7,0	6,0
Кизеловский уголь	10,5	9,5

¹ Если скорость газов в диагональном сечении шахматного пучка выше, чем в поперечном, то ее предельно допустимое значение проверяется в диагональном сечении.

² Подсчитано при температуре газов $\vartheta = 700$ °С. Если температура отличается от 700 °С более чем на ± 150 °С, величина $\mu_{\text{зл}}$ пересчитывается по формуле (II-3a).

Таблица II-13

Поверхность нагрева	Расположение труб	Шаг труб	
		поперечный s_1/d и s_1 , мм	продольный s_2/d и s_2 , мм
Фестоны на выходе из топки	Шахматное	$s_1 \geq 300$	$s_2 \geq 200$
Фестонированная часть перегревателя	Шахматное	$s_1 \geq 250$	$s_2 \geq 150$
Перегреватели в горизонтальном газоходе	Коридорное	$s_1/d = 2,5 \div 3,5^5$	
Ширмы в верху топки	"	$s_1 \geq 550$	1,1—1,25
Ширмы в газоходах	"	$s_1 = 350 \div 400$	1,1—1,25
Экономайзеры и перегреватели в конвективной шахте	Шахматное ¹	$s_1/d = 3,0 \div 3,5^2$	$s_2' - d \geq 20^4$
	Коридорное	$s_1/d = 2,0 \div 3,0^3$	$s_2 - d \geq 30$

¹ Для топлив, не дающих плотные отложения (экибастузский, подмосковный, челябинский угли), допускается снижение s_1/d до 2,5 и s_2/d до 1,1.

² При трубах диаметром ≤ 42 мм. При трубах ≥ 50 мм допускается $s_1/d = 2,5$.

³ Уменьшение s_1/d допускается при обеспечении зазора в свету не менее 35 мм.

⁴ Для выходных ступеней перегревателей газомазутных котлов при работе без присадок, обеспечивающих рыхлую структуру отложений, зазор $s_2' - d \geq 3,5$ (s_2' — диагональный шаг).

⁵ При сжигании шлакующих топлив зазор $s_1 - d \geq 60$ мм.

б) Перегреватели и котельные пучки

5. Наружный диаметр труб перегревателей принимается в пределах $d = 28 \div 42$, для промперегревателей $d \leq 60$ мм. В первых необходимо обеспечивать достаточно высокую скорость пара на участках, где температура стенки труб близка к предельно допустимой для выбранного материала. Гидравлическое сопротивление первичного перегревателя в котлах с естественной циркуляцией (от барабана до главной парозапорной задвижки включительно) не должно превышать 10% рабочего давления пара; для котельных агрегатов, рассчитанных на давление $p \geq 140$ кгс/см², допускается повышение гидравлического сопротивления перегревателя до 15%.

6. Для обеспечения надежной работы перегревателей с температурой пара выше 500 °С необходимо делить их на последовательно включенные (по пару) части с перемешиванием пара в промежутках между ними. Кроме того, следует осуществлять переборс пара из одной части газохода в другую. Перемешивание может обеспечиваться при помощи смесительных коллекторов с торцевым подводом или отводом, в коллекторе впрыскивающего парохладителя и др. При температуре пара 450—500 °С перемешивание также целесообразно.

7. Подводить пар рекомендуется рядом труб малого диаметра по всей длине раздающего коллектора перегревателя; применение схемы П не рекомендуется.

Использование схемы Z допускается при условии размещения пакетов или панелей таким образом, чтобы участки эмсеевиков с минимальным расходом и максимальной температурой пара размещались в зоне минимальных тепловых потоков.

Более подробные указания по выбору схем подвода даны в нормах гидравлического расчета котельных агрегатов.

8. Номинальная температура первичного и вторичного перегретого пара должна обеспечиваться в диапазоне нагрузок, установленных ГОСТ на паровые котлы. Отступления от ГОСТ должны быть оговорены в техническом задании, утвержденном министерствами.

В котлах высокого и сверхвысокого давлений с естественной циркуляцией для улучшения температурной характеристики перегревателя рекомендуется устанавливать настенные радиационные и полурadiационные (ширмовые) перегреватели в топке.

9. Для повышения надежности работы и улучшения регулировочных характеристик перегревателей при тем-

пературе перегретого пара выше 500 °С необходимо применять две или три ступени регулирования перегрева с использованием впрыска как основного средства регулирования.

В котельных агрегатах с естественной циркуляцией, устанавливаемых на ТЭЦ, для впрыска воды используется собственный конденсат котла.

10. В котлах среднего давления перегрев пара регулируется в поверхностных парохладителях, размещенных в коллекторах перегревателя или в барабане котла.

Питательную воду из парохладителя необходимо возвращать в питательную линию котла или в промежуточный коллектор экономайзера.

11. Для котельных агрегатов с температурой перегрева $t_{пе} \geq 500$ °С расход выходного впрыска принимается в размере до 3% номинальной паропроизводительности.

Поверхность нагрева перегревателя котельных агрегатов с естественной циркуляцией, рассчитываемых для работы на одном топливе, определяется при номинальной нагрузке с учетом тепловосприятия в парохладителях в размере 15—20 ккал на 1 кг пара (нижний предел — при наличии радиационного настенного перегревателя в топке). Выбранная поверхность должна обеспечивать нормальный перегрев пара при 70%-ной нагрузке, что проверяется расчетом; при невыполнении этого условия следует увеличить поверхность перегревателя.

При проектировании котлов с естественной циркуляцией для работы на топливе двух видов расчет при номинальной нагрузке производится на топливе, при котором перегрев получается выше, а достаточность поверхности нагрева перегревателя проверяется при 70%-ной нагрузке на топливе, при котором перегрев получается меньше.

Конструкция и поверхность нагрева парохладителей, арматура и трубопроводы к ним должны обеспечивать впрыск в 1,5—2 раза выше расчетного значения.

В прямоточных котельных агрегатах суммарный расход воды на впрыски должен приниматься в пределах 5—8% номинальной производительности.

12. В прямоточных котлах на докритическое давление влажность пара на входе в переходную зону (для обеспечения отсутствия перегрева в развернутой трубе нижней радиационной части) должна составлять 25—30%, а на выходе из переходной зоны, во избежание отложения солей в верхней радиационной части, $\Delta t_{пе} = 15 \div 20$ ккал/кг.

13. Промперегреватели могут выполняться чисто газовыми или парогазовыми. При установке газового и парогазового промперегревателей в зоне температур выше 850 °С необходимо предусматривать надежное охлаждение труб при режимах пуска блока из различного теплового состояния и при сбросах нагрузки до режима холостого хода.

14. Котельные агрегаты, снабженные промперегревателями, необходимо обеспечивать средствами регулирования температуры промперегрева, позволяющими поддерживать ее номинальное значение в диапазоне нагрузок 70—100 %.

Для регулирования температуры промперегрева можно применять паро- и газопаропаровые теплообменники, газовое регулирование с разделением газопотоков вплоть до дымососов или рециркуляцию дымовых газов. Применение поворотных горелок для регулирования промперегрева допустимо лишь при сжигании нешлакующих каменных углей и установке щелевых горелок.

15. Регулирование температуры промперегрева следует осуществлять путем байпасирования теплообменника по вторичному пару; байпасирование по первичному пару не рекомендуется.

При установке паропарового теплообменника и расположении выходной ступени промперегревателя в зоне умеренных температур газов (≤ 700 °С) для регулирования промперегрева может также применяться впрыск в первичный пар.

16. Рециркуляцию газов как средство регулирования температуры промперегрева рекомендуется применять в основном в газомазутных котлах; в котлах, работающих на твердом топливе, возникают затруднения, вызванные необходимостью очищать газы от золы. Отбор рециркулирующих газов должен производиться перед воздухоподогревателем.

17. Впрыск в тракт промперегревателя должен применяться как средство защиты турбины и промперегревателя в моменты внезапных повышений температуры пара, а также в периоды растопки. Использование впрыска для регулирования промперегрева должно быть экономически обосновано.

в) Экономайзеры и переходные зоны

18. Рекомендуемый наружный диаметр труб стального экономайзера находится в пределах $d = 28 \div 38$ мм.

19. При П-образной компоновке и сжигании твердых топлив рекомендуется располагать змеевики параллельно задней стене котла. В этом случае усиленному золотому износу, вызванному увеличением скорости и концентрации золы на внешней образующей поворота, подвергаются лишь змеевики, прилегающие к внешней стене шахты.

Поперечное расположение змеевиков допускается при сжигании жидкого, газообразного и твердых малозольных топлив, а также при применении топков с высоким коэффициентом шлакоулавливания. Если поперечное расположение змеевиков вынужденное, необходимо предусматривать особые меры их защиты.

20. Расстояние между соседними ступенями экономайзера и воздухоподогревателя для обеспечения осмотра и очистки поверхностей нагрева должно быть 800—1000 мм (большее значение для котельных агрегатов $D \geq 220$ т/ч).

Между отдельными пакетами змеевиков экономайзеров котельных агрегатов средней и большой паропроизводительности должны быть предусмотрены разрывы высотой не менее 600—800 мм. Высота пакета должна быть не более 1 м при тесном расположении труб ($s_2/d \leq 1,5$) и не более 1,5 м при редком.

Разрывы высотой не менее 600—800 мм предусматриваются также между группами чугунных труб экономайзера;

в каждой группе должно быть не более 8—10 рядов по высоте.

21. При компоновке экономайзера «в рассечку» с воздухоподогревателями для получения минимальной разверки температур воды по змеевикам рекомендуется осуществлять полное перемешивание ее при переброске из нижней ступени экономайзера в верхнюю. Перемешивание должно производиться при отсутствии закипания. Недогрев воды на входе в «кипящую» ступень экономайзера должен составлять не менее 40°.

22. Массовая скорость воды на входе в экономайзер должна быть 600—800 кг/(м²·сек) при номинальной нагрузке котельного агрегата. Для ее обеспечения можно применять змеевиковые стальные экономайзеры с гребнями в нескольких плоскостях.

23. Гидравлическое сопротивление экономайзера котлов высокого и сверхвысокого давлений должно составлять не более 5, котлов среднего давления — не больше 8% давления в барабане котла.

24. Температура воды на выходе из экономайзера для индивидуальных, неотключаемых чугунных экономайзеров ВТИ должна быть ниже температуры кипения не менее чем на 20°; для групповых, отключаемых чугунных экономайзеров и чугунных экономайзеров старых конструкций — не менее чем на 40°.

г) Воздухоподогреватели

25. Трубчатые воздухоподогреватели с вертикальными трубами рекомендуется выполнять из труб наружным диаметром 40—33 мм с толщиной стенки 1,5 мм. При сжигании малозольных топлив и природного газа допускается применять трубы наружным диаметром 29 мм.

26. Скорость газов и воздуха в воздухоподогревателях выбирают из условия обеспечения минимума расчетных затрат с учетом условий самоочистки труб. Для котлов с уравновешенной тягой при стоимости топлива 10—12 руб/т усл. топлива рекомендуется:

а) для трубчатых воздухоподогревателей скорость газов — 11 ± 2 м/сек; скорость воздуха — 4,5—6 м/сек при относительном поперечном шаге труб $\sigma_1 = 1,5 \div 1,2$ (меньшая скорость — при большем значении σ_1);

б) для вращающихся регенеративных воздухоподогревателей скорость газов — 9—11 м/сек, скорость воздуха — 6—8 м/сек; по условию самоочистки рекомендуется принимать верхний предел указанных скоростей газов и воздуха.

При предельных значениях расчетной стоимости топлива 4,0 и 20 руб/т усл. топлива экономические скорости газов и воздуха соответственно повышаются или понижаются на 10%. При работе котла с наддувом экономические скорости газов увеличиваются на 10%.

Для пластинчатых, ребристых и ребристо-зубчатых воздухоподогревателей рекомендуются следующие соотношения скоростей воздуха и газов:

для ребристых и пластинчатых $w_B/w_T = 1,0$;

для ребристо-зубчатых $w_B/w_T = 0,7$.

Скорость газов (воздуха) выбирается на основе технико-экономического расчета.

27. Поверхность нагрева сменяемой части нижней ступени трубчатого воздухоподогревателя выбирается, исходя из условия обеспечения отсутствия коррозии в несменяемой части. Для этого минимальная температура стенки несменяемой части при номинальной нагрузке котельного агрегата проверяется по формуле

$$t_{\text{ст}}^{\text{мин}} = \frac{0,8\alpha_r t_r'' + \alpha_B t_B'}{0,95\alpha_r + \alpha_B}, \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (\text{II-4a})$$

где α_r и α_B — коэффициенты теплоотдачи с газовой и воздушной сторон, средние для всей несменяемой ступени, ккал/(м²·ч·°С);

ϑ''_r — температура газов на выходе из несменяемой части пижней ступени, °C;

t'_b — температура воздуха на входе в несменяемую часть нижней ступени, °C.

(Коэффициентами 0,8 и 0,95 в формуле учитывается влияние загрязнения труб и неравномерности температурного поля газов на выходе из несменяемой части воздухоподогревателя.)

Расчетная величина $t_{ст}^{мин}$ при сжигании твердых топлив должна быть на 10—15° выше температуры точки росы дымовых газов.

При сжигании мазута температура стенки $t_{ст}^{мин}$ принимается на 15—20° выше температуры воздуха на входе в воздухоподогреватель (несменяемую часть).

28. В регенеративных воздухоподогревателях минимальная температура стенки несменяемой «горячей» ступени проверяется по формуле

$$t_{ст}^{мин} = \frac{x_1 \alpha_r \vartheta''_r + x_2 \alpha_b t'_b}{x_1 \alpha_r + x_2 \alpha_b}, \text{ °C.} \quad (\text{II-46})$$

Значения α_r , α_b , ϑ''_r и t'_b те же, что в формуле (II-4a); x_1 и x_2 — доли поверхности нагрева или сечения, омываемых соответственно газом и воздухом (без учета поверхности или сечения под плитами радиальных уплотнений).

29. Для эффективной работы воздухоподогревателя необходимо обеспечивать равномерную раздачу воздуха перед воздухоподогревателем и в перепускных каналах между кубами и ступенями.

В перепускных каналах рекомендуется устанавливать направляющие листы, в двухпоточных воздухоподогревателях потоки воздуха необходимо полностью разделять.

30. При растопке котельного агрегата на мазуте необходимо обеспечивать отсутствие конденсации влаги на холодных поверхностях воздухоподогревателя. Для этого в воздухоподогреватель следует подавать воздух, нагретый в калориферах не менее чем до 90 °C.

При отсутствии калориферов для подогрева входящего воздуха рекомендуется установка байпаса для перепуска части воздуха помимо воздухоподогревателя.

ПРИЛОЖЕНИЕ III

УКАЗАНИЯ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ И РАСЧЕТУ ПАРООХЛАДИТЕЛЕЙ И ТЕПЛООБМЕННИКОВ

Для регулирования температуры пара применяются следующие устройства: впрыскивающие парохладители с впрыском питательной воды или «собственного» конденсата, получаемого в теплообменниках, паропаровые теплообменники, газопаропаровые теплообменники, поверхностные парохладители.

А. ВПРЫСКИВАЮЩИЕ ПАРООХЛАДИТЕЛИ

Ниже приведены краткие сведения о выборе впрыскивающих парохладителей (более подробно см. «Нормы гидравлического расчета паровых котлов»).

1. При подаче во впрыскивающие парохладители питательной воды устройство для впрыска может быть выполнено в виде перфорированной трубы, введенной в цилиндрическую защитную рубашку. Диаметр отверстий 3—5 мм. Скорость воды допускается 10—20 м/сек при максимальном расходе на впрыск и номинальной нагрузке; большее значение относится к котлам на $p \geq 150 \text{ кгс/см}^2$.

2. При впрыске «собственного» конденсата для увеличения разности давлений впрыскиваемой воды и пара устанавливается труба Вентури с подачей конденсата в горловину¹. Диаметр отверстий для воды 3—5 мм. Число их выбирается из условия, чтобы при минимальной нагрузке котла и впрыске 5% скорость воды была при впрыскивающих отверстиях, расположенных на поверхности горловины трубы Вентури, не ниже 2—3 м/сек; при отверстиях на патрубке в паропроводе — 1 м/сек.

3. Надежность впрыскивающего парохладителя зависит от правильного выбора длины защитной рубашки. Последняя определяется для минимальной расчетной нагрузки при максимальном впрыске по номограмме 32 в зависимости от массовой скорости пара в месте впрыска $w_{рп}$, давления p , разности температур перегрева и насыщения в начале и в конце участка испарения

$$\Delta t' = t'_{п.п} - t_{н.п} \quad \text{и} \quad \Delta t'' = t''_{п.п} - t_{н.п} \quad (\text{III-1})$$

¹ Труба Вентури с целью сокращения длины испарительного участка применяется также и при впрыске питательной воды.

и степени сжатия сечения (для трубы Вентури) $m = F_{сж}/F_{тр}$. Для котлов сверхкритического давления условно принимают $t_{н.п} = 400 \text{ °C}$. Минимальная длина защитной рубашки — не менее 0,5 м.

Б. ПАРОПАРОВЫЕ ТЕПЛООБМЕННИКИ

4. В паропаровых теплообменниках за расчетную поверхность нагрева принимается поверхность труб на стороне обогреваемого пара. Средний температурный напор определяется как среднелогарифмическая разность температур с учетом взаимного направления движения обеих сред.

5. Коэффициент теплопередачи находится по формуле

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} \frac{d_2}{d_1} + \frac{\delta_m}{\lambda_m} + \frac{1}{\alpha_2}}, \text{ ккал/(м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{°C)}, \quad (\text{III-2})$$

где α_1 и α_2 — соответственно коэффициенты теплоотдачи от греющего пара к стенке труб диаметром d_1 и от стенки труб диаметром d_2 к вторичному пару, ккал/(м² · ч · °C);

δ_m — толщина стенки труб, м;

λ_m — коэффициент теплопроводности стенки труб, ккал/(м · ч · °C).

Физические характеристики, входящие в формулы для определения коэффициентов теплоотдачи α_1 и α_2 , берутся по средним температурам соответствующей среды.

Коэффициенты теплоотдачи α_1 и α_2 для паропаровых теплообменников, при обычно имеющем место продольном течении греющего и обогреваемого пара, определяются по указаниям п. 7—27 с учетом формы канала. При одностороннем обогреве (охлаждении) кольцевых каналов коэффициент C_d в формуле (7-42) определяется по рис. 7-5.

При расчете теплообменников конструкции ЗиО (пучок труб в U-образной трубе, по которой протекает обогреваемый пар) значение коэффициента теплоотдачи от стенки к обогреваемому пару, определенное по номограмме 15, умножается на коэффициент 1,2 (учитывающий увеличение теплоотдачи из-за влияния поворота потока пара), для теплообменников типа «труба в трубе» — на 1,1.

В. ГАЗОПАРОПАРОВЫЕ ТЕПЛООБМЕННИКИ

6. Эти теплообменники рассчитываются приближенно как два совмещенных: газопаровой и паропаровой.

Конструктивно паропаровая часть выполняется обычно по схеме «труба в трубе» или «пучок труб в трубе». Последующие указания даются для подобных схем.

7. Для расчета газопаровой стороны теплообменника предварительно задаются приращением энтальпии вторичного пара от обогрева газами Δi_r и паром Δi_n и по суммарному приращению $\Delta i_2 = \Delta i_r + \Delta i_n$ определяют конечные значения энтальпии и температуры вторичного пара.

Температурный напор Δt подсчитывается как среднеарифметическая разность температур газов и вторичного пара.

Коэффициент теплоотдачи от стенки к пару α_2 вычисляется для обеих схем: «труба в трубе» и «пучок труб в трубе» по формуле (7-42) или номограмме 15.

В остальном газопаровая сторона рассчитывается как обычная поверхность нагрева перегревателя. Тепло-восприятие вторичного пара определяется по формуле

$$\Delta i_r^T = \frac{(k\Delta t H)_r}{D_2}, \text{ ккал/кг}, \quad (\text{III-3})$$

где k — коэффициент теплопередачи, вычисляемый по формуле (7-15а), ккал/(м²·ч·°С);

H — поверхность нагрева газопаровой стороны, определяемая по наружному диаметру трубы, м²;

D_2 — расход вторичного пара, кг/ч.

Полученная расчетом величина Δi_r^T не должна отличаться от предварительно принятой Δi_r более чем на 2%; в противном случае следует уточнить Δi_r и повторно определить Δi_r^T .

8. Для проверки правильности принятой при расчете газопаровой стороны величины Δi_n производится расчет паропаровой стороны. Энтальпии и температуры вторичного пара принимаются из расчета газопаровой стороны теплообменника.

Энтальпия греющего пара на выходе из теплообменника находится из равенства

$$i''_1 = i'_1 - \Delta i_n \frac{D_2}{D_1}, \text{ ккал/кг}, \quad (\text{III-4})$$

где D_1 и D_2 — расходы греющего и вторичного пара, кг/ч;

i'_1 — начальная энтальпия греющего пара, ккал/кг;

Δi_n — приращение энтальпии вторичного пара от греющего пара на 1 кг вторичного пара, ккал/кг.

9. Тепловосприятие теплообменника на паропаровой стороне по вторичному пару:

$$\Delta i_n^T = \frac{(k\Delta t H)_n}{D_2}, \text{ ккал/кг}, \quad (\text{III-5})$$

где H — поверхность нагрева паропаровой стороны, определяемая по наружному диаметру внутренней трубы, м²;

Δt — температурный напор, рассчитывается как среднеарифметическая разность температур греющего и вторичного пара;

k — коэффициент теплопередачи, рассчитывается по формуле (III-2).

Полученная расчетом величина Δi_n^T не должна отличаться от предварительно принятого значения Δi_n больше чем на 2%, в противном случае уточняется Δi_n , а также расчеты газопаровой и паропаровой частей.

Г. ТЕПЛООБМЕННИКИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ «СОБСТВЕННОГО» КОНДЕНСАТА И ПОВЕРХНОСТНЫЕ ПАРООХЛАДИТЕЛИ

10. Поверхность нагрева поверхностных пароохладителей и теплообменников определяется по среднеарифметическому диаметру труб.

При охлаждении пара питательной водой (независимо от того, насыщенный он или перегретый) происходит частичная его конденсация. Поэтому методика расчета таких пароохладителей совпадает с методикой расчета теплообменников для получения «собственного» конденсата. В пароохладителе, где пар охлаждается кипящей водой, он не конденсируется, поэтому расчет отличается от расчета теплообменников с питательной водой.

11. Коэффициент теплопередачи теплообменников, охлаждаемых питательной водой, кроме указанных ниже, рассчитывается по формуле

$$k = \frac{\xi}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_m}{\lambda_m} + \frac{1}{\alpha_2}}, \text{ ккал/(м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{°С)}, \quad (\text{III-6})$$

где α_1 — коэффициент теплоотдачи от греющего пара к стенке диаметром d_1 , определяется по формуле (7-42) или номограмме 15, ккал/(м²·ч·°С);

α_2 — коэффициент теплоотдачи от стенки диаметром d_2 к вторичному пару, принимается из расчета газопаровой части, ккал/(м²·ч·°С);

δ_m — толщина стенки труб, м;

λ_m — коэффициент теплопроводности стенки труб, ккал/(м·ч·°С); для расчета принимается равным 40 ккал/(м·ч·°С);

ξ — коэффициент использования поверхности нагрева; для горизонтальных пароохладителей, охлаждаемых питательной водой, при давлении пара 35 кгс/см² и более и скорости жидкости $w_{ж} > 2,5$ м/сек $\xi = 0,9$.

12. Коэффициент теплоотдачи от пара к стенке при охлаждении труб питательной водой для теплообменников с горизонтальным малорядным ($z \leq 10$) пучком труб, омываемых вертикальным потоком пара, определяется по номограмме 33 или по формуле

$$\alpha = 0,5\beta \sqrt{\frac{4 \cdot 3600 \lambda_{ж}^3 r_{ж}^2}{\mu_{ж} \delta t d}} = \beta \alpha_0, \text{ ккал/(м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{°С)}, \quad (\text{III-7})$$

где α_0 — коэффициент теплоотдачи от неподвижного пара к горизонтальным трубам, ккал/(м²·ч·°С); определяется по номограмме 33;

$\lambda_{ж}$ — коэффициент теплопроводности, ккал/(м·ч·°С);

$\mu_{ж}$ — коэффициент вязкости, кгс/(сек·м²);

$\rho_{ж}$ — плотность воды на линии насыщения при давлении пара в теплообменнике, кг/м³;

r — теплота испарения при давлении пара в теплообменнике, ккал/кг;

d — наружный диаметр труб, м;

δt — перепад температур пар — стенка, °С.

β — коэффициент, учитывающий влияние движения пара; определяется по вспомогательному полю номограммы 33 в зависимости от величины $w_{ж}^2 \alpha_0$ и давления пара p . При омывании труб частично восходящим и частично нисходящим потоками пара принимается $\beta = 0,5(\beta_{верх} + \beta_{низ})$;

$w_{ж}$ — скорость пара в камере теплообменника, м/сек.

13. Скорость пара в камере теплообменника $w_{п}$ определяется по среднему (между начальным и конечным) расходу пара. Живое сечение для прохода пара подсчитывается для каждого горизонтального ряда отдельно и усредняется пропорционально поверхности на-

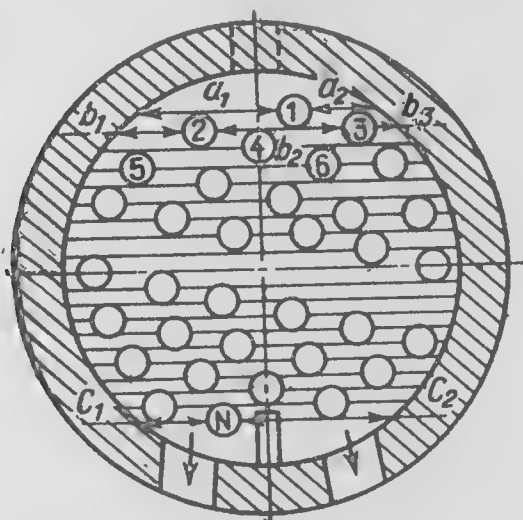


Рис. III-1. Схема усреднения сечений для прохода пара.

грева рядов $H_1, H_2, \dots$ по выражению

$$F_{\text{ср}} = \frac{I \Sigma H}{\frac{H_1}{a_1 + a_2} + \frac{H_2 + H_3}{b_1 + b_2 + b_3} + \dots + \frac{H_N}{c_1 + c_2}}, \text{ м}^2, \quad (\text{III-8})$$

где a, b, c обозначают соответственно промежутки между трубами и стенками в первом, втором, третьем и т. д. рядах теплообменника (рис. III-1).

14. Для пользования номограммой 33 предварительно задаются величиной δt и после определения коэффициента теплопередачи k проверяют ее по формуле

$$\delta t = \frac{k(t_n - t_{\text{ж}})}{\alpha_1}, \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (\text{III-9})$$

где t_n — температура насыщения при давлении пара в теплообменнике, $^\circ\text{C}$;

$t_{\text{ж}}$ — средняя температура воды (жидкости) в пароохладителе, $^\circ\text{C}$.

Если расхождение между подсчитанной величиной δt и предварительно принятой превышает 25%, величины α_1 и k пересчитываются и δt уточняется.

15. Коэффициент теплоотдачи от пара к стенке при охлаждении труб питательной водой для теплообменников с вертикальным пучком труб, омываемых продольным потоком пара, при полной его конденсации определяется по номограмме 34 или по формуле

$$\alpha = 0,024 \frac{\lambda_{\text{ж}}}{d_3} \left(\frac{w_{\text{ж}} d_3}{\nu_{\text{ж}}} \right)^{0,8} \times \frac{1 + \sqrt{\frac{\rho_{\text{ж}}}{\rho_{\text{п}}}}}{2}, \text{ ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}), \quad (\text{III-10})$$

где $\rho_{\text{ж}}$ и $\rho_{\text{п}}$ — плотность воды и пара на линии насыщения при давлении в теплообменнике, $\text{кг}/\text{м}^3$;

$\text{Pr}_{\text{ж}}$ — критерий физических свойств воды на линии насыщения при давлении в теплообменнике;

d_3 — эквивалентный диаметр, определяется по формуле (7-43а), м;

$w_{\text{ж}}$ — скорость воды, определяется по полному расходу конденсата, равному расходу пара, $\text{м}/\text{сек}$.

Остальные обозначения — см. формулу (III-7).

Для пароохладителей с вертикальным пучком труб, омываемых продольным потоком пара при частичной его конденсации, коэффициент теплоотдачи рассчитывается с учетом паросодержания в выходном сечении

x по формуле

$$\alpha' = \alpha \frac{\sqrt{\frac{\rho_{\text{ж}}}{\rho_{\text{п}}}} + \sqrt{1 + x \left(\frac{\rho_{\text{ж}}}{\rho_{\text{п}}} - 1 \right)}}{1 + \sqrt{\frac{\rho_{\text{ж}}}{\rho_{\text{п}}}}}, \quad \text{ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}), \quad (\text{III-10a})$$

где α находится по формуле (III-10) или номограмме 34.

16. Коэффициент теплоотдачи от пара к стенке при охлаждении труб водой, температура которой превышает температуру насыщения охлаждаемого пара, определяется по номограмме 15, а в критической области — по номограмме 35.

Коэффициент теплоотдачи от стенки к некипящей воде получаем по номограмме 16.

17. Коэффициент теплоотдачи от стенки к кипящей воде для углеродистых труб, на которых образуется оксидная пленка, вычисляется по формуле

$$\alpha = \frac{1}{\frac{0,4}{\alpha_{\text{ч}}} + 0,5 \cdot 10^{-4}}, \text{ ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}), \quad (\text{III-11})$$

где $\alpha_{\text{ч}}$ — коэффициент теплоотдачи от стенки к кипящей воде для чистых труб (из высоколегированных материалов):

$$\alpha_{\text{ч}} = 3(p^{0,14} + 1,83 \cdot 10^{-4} p^2) q^{0,7}, \text{ ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}), \quad (\text{III-12})$$

где p — давление воды в пароохладителе, $\text{кгс}/\text{см}^2$;

q — тепловая нагрузка поверхности нагрева пароохладителя, $\text{ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$; ею предварительно задаются, а после определения коэффициента теплопередачи проверяют по формуле

$$q = k(t_n - t_{\text{кип}}), \text{ ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}). \quad (\text{III-13})$$

Если расхождение между принятой и вычисленной величинами q больше 25%, пересчитываются α и k и уточняется значение q .

По формулам (III-11) и (III-12) построена номограмма 36: $\alpha_{\text{ч}} = \alpha \cdot \varphi_{\text{ч}}$, где коэффициент $\varphi_{\text{ч}}$ определяется по вспомогательному полю номограммы.

18. Температурный напор подсчитывается по формуле (7-75). При охлаждении питательной водой температура пара принимается равной температуре насыщения; при охлаждении кипящей водой температурный напор рассчитывается по фактическим конечным температурам пара.

19. Коэффициент теплопередачи охлаждаемых питательной водой горизонтальных поверхностных пароохладителей, расположенных в камерах насыщенного пара, а также в промежуточных камерах, в которых скорость пара не превышает 1,5 $\text{м}/\text{сек}$, при наружном диаметре змеевиков 15—30 мм, внутреннем диаметре камер меньше 300 мм и скорости воды до 2,0 $\text{м}/\text{сек}$ приближенно рассчитывается по эмпирической формуле

$$k = 1700 w_{\text{ж}}, \text{ ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}), \quad (\text{III-14})$$

где $w_{\text{ж}}$ — средняя скорость воды в змеевиках (трубах) пароохладителя, $\text{м}/\text{сек}$ (определяется по фактическому расходу воды).

20. При выборе пароохладителя следует учитывать, что из-за повышения температурного напора в перегревателе, вызываемого включением пароохладителя, величина тепловосприятости пароохладителей, расположенных в коллекторе насыщенного пара или в «рассечке» перегревателя, превышает заданное снижение энтальпии перегретого пара ориентировочно на 15—30% в зависимости от местоположения пароохладителя в схеме перегревателя (наибольшее превышение — при расположении в коллекторе насыщенного пара).

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ МЕТАЛЛА СТЕНОК ТРУБ

1. Под расчетной температурой металла труб $t_{ст}$ понимается наибольшее местное значение температуры стенки, вычисленное с учетом неравномерностей тепло-восприятия по сечению газохода и окружности трубы, растечки тепла по стенке, гидравлической неравномерности и конструктивной нетождественности змеевиков. Так как большая часть обогреваемых труб котельных агрегатов высокого и сверхкритического давлений рассчитывается на длительную прочность, то при определении расчетной температуры металла нужно учитывать в основном не кратковременные пики температур, а статистически длительные их значения. В соответствии с этим выбираются значения коэффициентов неравномерности.

2. Температура стенок обогреваемых труб рассчитывается для номинальной нагрузки котельного агрегата на каждом расчетном топливе при номинальной температуре питательной воды.

Наряду с этим производится поверочный расчет температуры стенки при нагрузке примерно 50% номинальной для радиационных поверхностей нагрева (НРЧ, СРЧ, ВРЧ) прямоточных котлов и радиационных перегревателей котельных агрегатов с естественной циркуляцией¹ и ширм. Температура питательной воды для котельных агрегатов блочных установок принимается соответствующей расчетному режиму работы блока, а блочных установок — номинальной.

Температура стенки труб проверяется в местах, где высоки удельное тепловосприятие, температура среды и большая гидравлическая разверка; сочетание этих факторов также может обусловить наибольшую ее величину.

При этом следует учитывать, что максимальные тепловые нагрузки приходятся:

в коридорных пучках и ширмах — на трубы первого ряда по ходу газов;

в шахматных пучках — на трубы первого или второго ряда.

Если первый ряд ширм закорочен или выполнен из более жаростойкой стали, проверяется также второй (третий) ряд.

При развитых по высоте радиационных элементах¹ следует дополнительно проверять температуру стенки в зоне энтальпии, при которой устанавливается ухудшенный теплообмен.

При наличии паро- или газопарового теплообменника также следует проверять температуру греющей среды перед местом ее отбора на теплообменник; если температура пара при нагрузке 70% здесь выше, чем при номинальной, необходимо рассчитать температуру стенки указанного участка при пониженной нагрузке (70%).

3. В основу расчета прочности труб принимается средняя (по толщине) температура металла стенки развернутой трубы

$$t_{ст} = t + \Delta t_t + \beta \mu q_{\max} \left(\frac{\delta}{\lambda_m} \frac{1}{1 + \beta} + \frac{1}{\alpha_2} \right), \text{ } ^\circ\text{C.} \quad (\text{IV-1})$$

Температура наружной поверхности стенки этой трубы, которая служит для оценки вероятности окисления, находится по формуле

$$t_{ст.н} = t + \Delta t_t + \beta \mu q_{\max} \left(\frac{\delta}{\lambda_m} \frac{2}{1 + \beta} + \frac{1}{\alpha_2} \right), \text{ } ^\circ\text{C.} \quad (\text{IV-2})$$

¹ Элемент — это трубная поверхность нагрева, заключенная между коллекторами.

где

t — средняя для элемента температура протекающей среды в рассчитываемом сечении, $^\circ\text{C}$; находится по п. 4;

Δt_t — превышение температуры среды в трубе над средней в участке, $^\circ\text{C}$; определяется по п. 6 и 8;

μ — коэффициент растечки тепла², определяемый по п. 17; для кипяtilьных труб котельных агрегатов докритического давления $\mu = 1$;

$\beta = \frac{d}{d_{вн}} = \frac{d}{d - 2\delta}$ — отношение наружного

диаметра трубы к внутреннему;

δ — толщина стенки трубы, мм;

λ_m — коэффициент теплопроводности металла стенки, зависящий от марки стали и температуры, $\text{ккал}/(\text{м} \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C})$; (табл. IV-1). Для подсчета величины λ_m температура $t_{ст}$ принимается $t + 50^\circ\text{C}$;

α_2 — коэффициент теплоотдачи от стенки к обогреваемой среде, $\text{ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C})$; определяется по п. 15;

$q_{\max}$ — тепловая нагрузка в точке максимального тепловосприятия наиболее нагруженной трубы, $\text{ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$; находится по п. 7 и 12.

Температура стенки рассчитывается по упрощенным рекомендациям в следующих случаях:

а) для вертикальных и слабонаклонных (до 40° от вертикали) кипяtilьных труб, включая экранные, котельных агрегатов с естественной, а также с многократной принудительной циркуляцией при давлениях $p \leq 160 \text{ кгс}/\text{см}^2$, при максимальных удельных тепловосприятиях $q_{\max} \leq 350 \cdot 10^3 \text{ ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ принимают

$$t_{ст} = t_n + 60^\circ\text{C},$$

где t_n — температура кипения, $^\circ\text{C}$.

Температура стенки горизонтальных и наклонных ($>40^\circ$ от вертикали) кипяtilьных труб при всех тепловых нагрузках, вертикальных и слабонаклонных труб при $q_{\max} > 350 \cdot 10^3 \text{ ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$, труб котельных агрегатов с многократной циркуляцией при давлении более $160 \text{ кгс}/\text{см}^2$, труб прямоточных котельных агрегатов независимо от давления определяется по формуле (IV-1);

б) для труб первичных перегревателей, расположенных в зоне температур газов менее 650°C , при коэффициенте гидравлической разверки $p_r \geq 0,95$

$$t_{ст} = t + 50^\circ\text{C};$$

в) для некипящих конвективных экономайзеров котельных агрегатов всех типов

$$t_{ст} = t + 30^\circ\text{C}.$$

² Коэффициентом растечки в данной точке трубы называется отношение истинной температуры к температуре, которая была бы при равномерном обогреве трубы тепловым потоком $q_{\max}$.

Таблица IV-1

Марка стали	Средняя температура стенки $t_{ст}$, °C									
	300	360	400	440	480	520	560	600	640	680
Сталь 20, 15ГС	38	37	36	35	34	—	—	—	—	—
12Х1МФ	36,7	35,7	35	34	33,2	32,2	31	30	—	—
12ХМ, 15ХМ	33	32	31	30,5	30	29,5	29	28,5	—	—
12Х2МФСР	—	—	28	27,7	27,3	26,9	26,5	26	—	—
ЭИ-756	—	—	—	23	23	23	23	23	23	—
Х18Н12Т	—	—	—	19	19,5	20	20,5	21	21,5	22,5

Температура воды t принимается для котельных агрегатов:

барабанных — равной температуре насыщения при давлении в барабане (с учетом возможности закипания при колебаниях питания);

прямоточных — равной расчетной температуре воды на выходе из пакета экономайзера.

Для кипящих конвективных экономайзеров и радиационных экономайзеров прямоточных котельных агрегатов температура стенки рассчитывается по формуле (IV-1).

4. Средняя для элемента температура протекающей среды в расчетном сечении t принимается равной: для испарительных поверхностей котельных агрегатов докритического давления — температуре кипения; для экранов котельных агрегатов СКД, перегревателей, экономайзеров и переходных зон — температуре среды, определяемой по расчету.

Температура среды t подсчитывается по энтальпии в расчетном сечении (ряду), равной

$$i = i_{вх} + \Delta i_x, \text{ ккал/кг}, \quad (IV-3)$$

где $i_{вх}$ — энтальпия среды на входе в элемент, ккал/кг; находится по тепловому расчету.

При последовательном включении нескольких элементов $i_{вх}$ в последующих элементах (например, второй ход последовательно включенных панелей с подъемным движением среды, второй по ходу пара пакет перегревателя) рассчитывается с учетом коэффициентов неравномерности тепловосприятия предвключенных участков;

Δi_x — среднее приращение энтальпии среды в элементе до расчетного сечения, ккал/кг.

Температура среды на выходе из первого по ходу газов ряда труб перегревателя (экономайзера), включенного по схеме последовательно смешанного тока, определяется подбором величин тепловосприятия соответствующих участков согласно п. 7-71 с учетом формулы (IV-11).

При включении поверхности нагрева по схеме параллельно смешанного тока промежуточная температура среды при переходе из одного хода в другой (т. е. в первом по ходу газов ряду) рассчитывается по указаниям п. 7-71.

5. В п. 5—7 приведены указания для расчета температуры стенок труб радиационных поверхностей нагрева.

Для настенного или двусветного экрана при наличии позонного расчета топki¹ среднее приращение энтальпии среды в элементе

$$\Delta i_x = \eta_{ш} \frac{\Sigma (Q_{уч} \eta_{ст}) B_p}{D_{эл}}, \text{ ккал/кг}. \quad (IV-4)$$

¹ При расчетах на пониженные нагрузки (без изменения топлива) допустимо для определения Δi_x принимать распределение тепловосприятий по высоте топki на основе позонного расчета на номинальную нагрузку котла.

То же при отсутствии позонного расчета

$$\Delta i_x = \eta_{ш} \frac{q_{л} \Sigma (H_{л} \eta_{в.ср} \eta_{ст})_{уч}}{D_{эл}}, \text{ ккал/кг}, \quad (IV-4a)$$

где $\eta_{ш}$ — коэффициент неравномерности тепловосприятия элемента по ширине стены топki, относенный к среднему по ширине стены тепловосприятию, принимается по табл. IV-2;

Таблица IV-2

Количество элементов по ширине стены	$\eta_{ш}$
1—2	1,0
3—4	1,1
5—6	1,2
Более 6	1,3

¹ Определение элемента дано на стр. 79

$Q_{уч}$ — тепловосприятие участков (от начального до расчетного сечения), ккал/кг; находится из позонного расчета топki;

$\eta_{ст}$ — коэффициент распределения тепловосприятия между стенами топki, принимается по табл. IV-3;

Таблица IV-3

Стена топki	$\eta_{ст}$
Задняя, при однофронтном расположении горелок	1,1
Задняя, при открытых амбразурах шахтно-мельничных топок	1,2
В остальных случаях (для всех стен)	1,0

$q_{л}$ — среднее удельное тепловосприятие лучевоспринимающих поверхностей нагрева топki,

$$q_{л} = \frac{B_p Q_{л}}{H_{л}}, \text{ ккал/(м}^2 \cdot \text{ч)}.$$

При наличии в верхней части топki ширм, включаемых при расчете теплопередачи в объем топki (п. 6-01), для определения Δi_x условно рассчитывается топка без ширм. По данным этого расчета вычисляется среднее значение $q_{л}$, которое подставляется в формулу (IV-4a);

$H_{л}$ — лучевоспринимающие поверхности участков (по средним длинам труб), м²;

B_p — расчетный расход топлива, кг/ч;

$\eta_{в.ср}$ — средний для участка коэффициент распределения тепловосприятия по высоте топки, определяется с помощью номограммы 11;

$D_{эл}$ — расход среды в элементе, кг/ч.

6. Величина превышения температуры среды в расчетном сечении наиболее нагруженной трубы над средней, фигурирующая в формуле (IV-1), равна:

$$\Delta t_t = t_{\max} - t, \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (\text{IV-5})$$

где t — средняя температура среды в сечении труб, для которого рассчитывается температура стенки, $^\circ\text{C}$; определяется по п. 4;

$t_{\max}$ — температура в расчетном сечении наиболее обогреваемой (развернутой) трубы элемента, подсчитываемая по величине энтальпии $i_{\max}$:

$$i_{\max} = i + \left(\frac{\eta_t \eta_k}{\rho_r} - 1 \right) \Delta i_x, \text{ ккал/кг}; \quad (\text{IV-6})$$

i — энтальпия среды при средней температуре t , ккал/кг;

η_t — коэффициент неравномерности тепловосприятия развернутых труб настенных и двусветных экранов, отнесенный к среднему тепловосприятию элемента; его величина определяется по данным табл. IV-4 в зависимости от количества элементов по ширине стены. При расположении на стене одного-двух элементов, образованных из трех и более последовательно включенных ходов, общий коэффициент неравномерности для труб, проходящих по всем ходам, принимается 1,1;

η_k — коэффициент конструктивной нетождественности (отношение обогреваемой поверхности развернутой трубы к поверхности средней трубы элемента);

ρ_r — коэффициент гидравлической разверки расхода среды по трубам, находится по Нормативному методу гидравлического расчета;

Δi_x — среднее приращение энтальпии в элементе до расчетного сечения, ккал/кг; определяется с учетом коэффициентов неравномерности по п. 5.

Таблица IV-4

Число параллельных элементов по ширине стены	η_t при $\eta_{ш.макс}$	
	1,4	1,3
1—2	1,4	1,3
3—4	1,3	1,2
5—6	1,2	1,1
Более 6	1,1	1,0

Примечание. Для участка экранов, расположенного в нижней и верхней частях топки, в пределах которого $\eta_{ш.макс}$ изменяется, η_t определяется как средневзвешенная по высоте участков с разными его величинами. Значения $\eta_{ш.макс}$ приведены в п. 7.

Если раздающий коллектор рассчитываемого элемента является промежуточным и ввод среды в него не обеспечивает полного перемешивания ее, то

$$i_{\max} = i + \left(\frac{\eta_t \eta_k}{\rho_r} - 1 \right) \Delta i_x + a \left(\frac{\eta_t \eta_k}{\rho_r} - 1 \right)_{\text{пр}} \times \Delta i_{x.пр}, \text{ ккал/кг}. \quad (\text{IV-6a})$$

Здесь индекс «пр» обозначает элемент, включенный перед рассчитываемым; a — коэффициент, учитывающий неполноту перемешивания среды до ее поступления

в рассчитываемый элемент¹; при проходном коллекторе, а также при большом относительном количестве подводящих труб

$$\left(\frac{n_{\text{подв}}}{n_{\text{отв}}} > 0,3 \right).$$

$a=1,0$; при двустороннем вводе в торцы входного коллектора, а также при малом относительном количестве распределенных по длине коллектора подводящих труб

$$\left(\frac{n_{\text{подв}}}{n_{\text{отв}}} \leq 0,3 \right)$$

$a=0,5$; при одностороннем торцевом вводе или при полном перемешивании среды до входа в рассчитываемый элемент $a=0$

Для испарительных поверхностей котлов докритического давления принимают $\Delta t_t = 0$.

7. Максимальное удельное тепловосприятие радиационных поверхностей нагрева (настенных и двусветных экранов) вычисляется по формуле (при наличии позонного расчета топки):

$$q_{\max} = \eta_{ш.макс} \eta_{ст} q_c, \text{ ккал/(м}^2 \cdot \text{ч)}, \quad (\text{IV-7})$$

где $\eta_{ш.макс}$ — коэффициент неравномерности для определения максимального удельного тепловосприятия по ширине стены. В нижней части топок $\eta_{ш.макс}$ равен 1,3. Нижняя часть топки ограничивается линией на расстоянии $4D_a$ от оси горелок верхнего ряда (D_a — диаметр амбразуры) или пережимом в полуоткрытой топке.

Для участков стен, расположенных выше указанной линии, коэффициент неравномерности $\eta_{ш.макс}$ составляет 1,4.

Величина $\eta_{ш.макс}$ не зависит от числа последовательных ходов или параллельных элементов по ширине стены; $\eta_{ст}$ — коэффициент, принимается по табл. IV-3.

Удельное тепловосприятие поверхности нагрева в расчетном сечении q_c определяется из позонного расчета топки (п. 6-41), а при отсутствии последнего $q_{\max}$ можно найти из выражения:

$$q_{\max} = \eta_{ш.макс} \eta_{ст} \eta_{в} q_n, \text{ ккал/(м}^2 \cdot \text{ч)}, \quad (\text{IV-7a})$$

где $\eta_{в}$ — коэффициент распределения тепловосприятия по высоте топки в расчетном сечении.

Величина $\eta_{в}$ находится по номограмме 11, величина q_n — по п. 5.

В табл. IV-5 приведены предельные значения удельных тепловосприятий радиационной поверхности нагрева в нижней части топок (в районе горелок) котельных агрегатов обычного типа. В тех случаях, когда значение $q_{\max}$, подсчитанное по формуле (IV-7) или (IV-7a), выше приведенных в табл. IV-5 значений, следует принимать для дальнейших расчетов табличное значение $q_{\max}$.

При частичных нагрузках значения местных максимальных удельных тепловосприятий в нижней части топки ($2/3$ высоты) определяются по формуле²

$$q_x = q_{\max} \sqrt{\frac{D_x}{D}}, \text{ ккал/(м}^2 \cdot \text{ч)}; \quad (\text{IV-8})$$

в верхней части топки

$$q_x = q_{\max} \frac{D_x}{D}, \text{ ккал/(м}^2 \cdot \text{ч)}. \quad (\text{IV-8a})$$

¹ В соответствии с Нормативным методом гидравлического расчета.

² При рециркуляции газов в низ топки с изменением ее доли при разных нагрузках формулами (IV-8) и (IV-8a) пользоваться не следует.

Таблица IV-5

Топливо	$q_{\max} \cdot 10^{-3}$, ккал/(м ² ·ч)
А. При номинальной нагрузке	
Газ	350
То же для пылеугольных топок (с учетом возможности оголения участков ошипованных поверхностей)	400
Мазут	450—500*
Пыль бурых углей при замкнутой схеме сушки	300
То же при разомкнутой схеме сушки	350
Пыль каменных углей и АШ при твердом шлакоудалении	350
То же при жидком шлакоудалении	400
Ошипованные поверхности пылеугольных топок	180
Б. При растопках	
Мазут и газ в пылеугольных топках, не-ошипованные поверхности	150/100**
То же ошипованные поверхности	80/60**

* Для котельных агрегатов СКД величина $q_{\max}$ не должна превышать $450 \cdot 10^3$, для этого необходимо применять многоярусные горелки, рециркуляцию газов в топку и др.

** Бóльшее число—при растопке с нагрузкой ~30%, меньшее—при растопке с нагрузкой 15—20% номинальной. Избыток воздуха при растопке α_T до 3,0.

8. В п. 8—14 приведены рекомендации для расчета температуры стенки труб ширмовых и конвективных поверхностей нагрева. Энтальпия среды в расчетном сечении труб i определяется по формуле (IV-3).

Приращение энтальпии среды на участке змеевика от начала элемента до расчетного сечения

$$\Delta i_x = \frac{\eta_{\text{ш}} B_p Q_{\text{уч}}}{D_{\text{уч}}}, \text{ ккал/кг}, \quad (\text{IV-9})$$

где $\eta_{\text{ш}}$ — коэффициент неравномерности тепловосприятости элемента ширмовых и конвективных поверхностей нагрева, отнесенный к среднему тепловосприятию газохода; принимается по табл. IV-6;

$Q_{\text{уч}}$ — тепловосприятие участка на 1 кг топлива,

$$Q_{\text{уч}} = Q_{\text{уч.к}} + Q_{\text{уч.л}}, \text{ ккал/кг}, \quad (\text{IV-10})$$

$Q_{\text{уч.к}}$ — тепловосприятие конвекцией и межтрубным излучением участка (рядов) змеевика, ккал/кг;

$Q_{\text{уч.л}}$ — тепловосприятие этого участка излучением из топki или примыкающего объема, в том числе из объема ширм, расположенных впереди по ходу газов, а также из расположенного за пакетом объема, тепло излучения которого на последние ряды должно учитываться (в отличие от теплового расчета пакета в целом), ккал/кг.

Излучение из объема на примыкающие к нему ширмы может не учитываться, если глубина примыкающего объема не более 1,5 шагов ширм.

9. Тепловосприятие участка излучением из топki (из объема ширм или из газового объема) находится по формуле

$$Q_{\text{уч.л}} = \frac{q_{\text{л}} H_{\text{л}}}{B_p}, \text{ ккал/кг},$$

где $q_{\text{л}}$ — удельное тепловосприятие излучением, ккал/(м²·ч).

Таблица IV-6

Поверхность нагрева	$\eta_{\text{т}}$	$\eta_{\text{ш}}$
Ширмы и конвективные вертикальные пакеты, занимающие всю ширину газохода	1,3	1,0
То же, занимающие среднюю ее часть (35—50% ширины)	1,2	1,1*
То же, занимающие края газохода (25—35% ширины с каждой стороны)	1,3	0,9*
Горизонтальные пакеты, расположенные в опускной шахте при параллельном или перпендикулярном фронту расположении змеевиков	1,2	1,0

* Коэффициент $\eta_{\text{ш}}$ вводится также в том случае, когда в тепловом расчете тепловосприятие средних и крайних пакетов подсчитано раздельно.

Тепло излучения из топki определяется по п. 6-41 или 6-42, при этом для расчета температуры стенки ширм коэффициент ψ принимается, как для гладкотрубных экранов (без введения коэффициента β) для любого ряда труб.

Тепло излучения из объема ширм принимается равным $Q_{\text{л.вых}}$ по п. 7-04, из газового объема — по п. 7-37; $H_{\text{л}}$ — лучевоспринимающая поверхность участка змеевика (рассчитываемых его рядов),

$$H_{\text{л}} = \Sigma (F_{\text{пл}} x_p), \text{ м}^2;$$

$F_{\text{пл}}$ — площадь поверхности, проходящей через оси труб, м²;

x_p — угловые коэффициенты рядов змеевика до рассчитываемого сечения; для конвективных пучков определяются по номограмме 37,а (для первого ряда — по номограмме 1,а, кривая 5), для ширм — по номограмме 3,б. Для ряда ширм $n > 25$ принимается $x_p = 0$.

10. Тепловосприятие участка змеевика (от начала до расчетного сечения) конвекцией и межтрубным излучением определяется по формуле

$$Q_{\text{уч.к}} = \frac{k H_{\text{р.уч}} \Delta t_{\text{уч}}}{B_p}, \text{ ккал/кг}, \quad (\text{IV-11})$$

где k — коэффициент теплопередачи, взят из теплового расчета соответствующего пакета. Если в тепловом расчете пакета k вычислялся с учетом излучения из топki или объема по формулам (7-13) или (7-15)—(7-17) с введением $\alpha'_{\text{л}}$, рассчитанным по (7-59), то в формулу (IV-11) подставляется значение k , подсчитанное вновь, без учета излучения из топki или объема: для ширм — по формуле (7-15а), а для конвективных пакетов — по тем же формулам, но с введением $\alpha_{\text{л}}$, не поправленным на излучение объема; $H_{\text{р.уч}}$ — расчетная поверхность нагрева участка змеевика, приближенно определяемая по равенствам:

для первых пяти рядов ширм, «видящих» топку,

$$H_{\text{р.уч}} = H_{\text{уч}} - H_{\text{л}}, \text{ м}^2; \quad (\text{IV-12})$$

для остальных рядов ширм и всех рядов конвективных пакетов, облучаемых из топki или впереди лежащего объема

$$H_{\text{р.уч}} = H_{\text{уч}} - 0,5 H_{\text{л}}, \text{ м}^2; \quad (\text{IV-12а})$$

для рядов ширм и пакетов, облучаемых из сзади расположенного объема

$$H_{\text{р.уч}} = H_{\text{уч}} - 0,2 H_{\text{л}}, \text{ м}^2, \quad (\text{IV-12б})$$

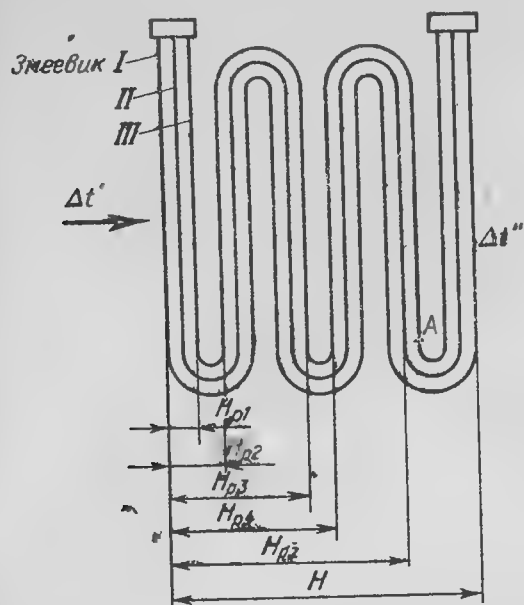


Рис. IV-1. К определению температурного напора на участке змеевика.

где $H_{yч}$ — поверхность нагрева участка змеевика до рассчитываемого сечения;

$H_{л}$ — лучевоспринимающая поверхность участка змеевика, найденная по указаниям п. 9.

Для первого и последнего рядов ширм (а также средних их рядов при разрыве между ними более $2s_2$) поверхность нагрева рассчитывается по формуле

$$H_{yч} = (s_2 x + 1,57d) l n, \text{ м}^2, \quad (IV-13)$$

где s_2 — продольный шаг труб ширмы, м;

x — угловой коэффициент ширм по продольному шагу s_2 , определяемый по номограмме 1, а, кривая 5;

l — длина труб, м;

n — количество ширм.

Поверхность нагрева остальных рядов ширм подсчитывается по общим указаниям п. 7-01;

$\Delta t_{yч}$ — средний температурный напор на рассчитываемом участке змеевика, °C.

Для змеевика многозаходного¹ пакета (рис. IV-1)² $\Delta t_{yч}$ определяется по формуле

$$\Delta t_{yч} = \Delta t' - (H_{q1} + H_{q2} + \dots + H_{qz}) \frac{\Delta t' - \Delta t''}{zH}, \text{ °C}, \quad (IV-14)$$

где H_{q1} — поверхность части пакета до ряда, соответствующего рассчитываемому змеевику в первом ходе³, включая поверхность этого ряда, м²;

H_{qz} — поверхность части пакета до ряда, соответствующего рассчитываемому змеевику в z -м ходе, включая поверхность этого ряда, м²;

z — число ходов змеевика до расчетного сечения (включая ход с этим сечением);

$\Delta t'$ и $\Delta t''$ — разности температур газов и внутренней среды при входе в пакет и выходе из него, °C;

H — поверхность нагрева пакета, м².

Средний температурный напор для участка змеевика однозаходного пакета, а также участка с четным числом ходов змеевика многозаходного пакета можно найти по формуле

$$\Delta t_{yч} = \Delta t' - \frac{H_{qч}}{2H} (\Delta t' - \Delta t''), \text{ °C}, \quad (IV-15)$$

где $H_{qч}$ — поверхность нагрева части пакета, подставляемая в эту формулу; определяется для змеевика многозаходного пакета с включением всей поверхности хода пакета с расчетным сечением (независимо от того, который ряд в этом ходе занимает рассчитываемый змеевик), м².

11. Энтальпия среды в расчетном сечении развернутой трубы ширмовых и конвективных пакетов $i_{\text{макс}}$ подсчитывается так же, как и для радиационных поверхностей, по формуле (IV-6).

В тех случаях, когда тепловосприятие развернутой трубы определено с учетом ее конструктивной нетождественности (по фактической поверхности нагрева), в формулу (IV-6) подставляется $\eta_k = 1$. Значения коэффициента η_t приведены в табл. IV-6; величина Δi_x определяется по формуле (IV-9).

Температуру в наиболее обогреваемой трубе ряда $t_{\text{макс}}$ находят по величине $i_{\text{макс}}$, Δt_t — по формуле (IV-5).

12. Максимальное удельное тепловосприятие труб ширмовых и конвективных поверхностей нагрева в разных рядах приходится на различные точки по окружности трубы. Для типовых случаев местоположение максимума принимается по табл. IV-7.

Величина максимального удельного тепловосприятия:

$$q_{\text{макс}} = \eta_{ш} \eta_t q_0, \text{ ккал/(м}^2 \cdot \text{ч)}. \quad (IV-16)$$

Коэффициенты неравномерности тепловосприятия элемента ширмовых и конвективных поверхностей нагрева по ширине газохода $\eta_{ш}$ и для развернутой трубы η_t определяются по табл. IV-6; q_0 — среднее в расчетном сечении значение удельного тепловосприятия наиболее нагруженной образующей трубы:

$$q_0 = \frac{\vartheta_p - t}{\beta_{\text{ш}} \left(\frac{\delta}{\lambda_{\text{ш}} \beta + 1} + \frac{1}{\alpha_2} \right) + \frac{1}{\alpha_1} + 0,25}, \text{ ккал/(м}^2 \cdot \text{ч)}; \quad (IV-17)$$

$$\alpha_1 = k_{\text{тр}} \alpha_k + \alpha_{\text{л}}, \text{ ккал/(м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{°C)}, \quad (IV-18)$$

ϑ_p — температура газов на входе в рассчитываемый ряд, °C; определяется по формуле

$$\vartheta_p = \vartheta' - (\vartheta' - \vartheta'') \frac{H_{qч}}{H}, \text{ °C},$$

где $H_{qч}$ — часть поверхности пакета до рассчитываемого ряда;

ϑ' и ϑ'' — температура газов на входе и на выходе из пакета, °C.

Для ширм, «видящих» топку, расчетной обычно является точка, лежащая внизу. В этом случае ϑ_p равна не расчетной температуре газов на выходе из топки, а температуре в сечении на высоте, где расположена эта точка. Она находится позонным или суммарным расчетом температуры на выходе из указанного сечения топки. Допускается для определения этой температуры рассчитать тепловосприятие зоны между потолком топки и тем сечением, где расположена данная точка; энтальпия газов в указанном сечении находится как разность энтальпии газов на выходе из топки и тепловосприятия последней зоны;

¹ Заходность пакета обусловлена количеством параллельных рядов змеевиков (труб), выходящих из коллектора.

² Тепловосприятие определяется для участка змеевика III от его начала до сечения A, расположенного в пятом ходе.

³ Ходами называются последовательно включенные участки с однозначным направлением (подъемным или опускным, правым или левым) движения внутренней среды.

Таблица IV-7

№ ряда*	Коридорный пучок		Шахматный пучок		Ширмы	
	угол между лобовой точкой и точкой с максимальным тепловосприятием, град	коэффициент неравномерности по окружности трубы $k_{тр}$	угол между лобовой точкой и точкой с максимальным тепловосприятием, град	коэффициент неравномерности по окружности трубы $k_{тр}$	угол между лобовой точкой и точкой с максимальным тепловосприятием, град	коэффициент неравномерности по окружности трубы $k_{тр}$
I	0	1,6	0	1,6	0	1,6
II	60	1,7	0	1,7	60	2,3
III	60	1,5	0	1,5	60	2,2
IV и последующие	60	1,4	0	1,6	60	2,2
Последний ряд пучка при наличии газового объема за пучком	180	1,0	180	1,0	180	2,2
			0**	1,6	60	2,0

* В случаях, когда рассматриваемый пучок (часть пучка) удален от предыдущего на величину более $2s_2$, счет рядов пучка начинают сначала и соответственно определяют все величины.

** При высокозольных топливах (сланцы) максимум тепловосприятия в точке 180 град.; при беззольных топливах (газ, слоевое сжигание)—в точке 0 град.; в остальных случаях следует проверять значение φ_0 для обеих предельных точек.

t — средняя для элемента температура среды в расчетном сечении, °C;

ε — коэффициент загрязнения, $(м^2 \cdot ч \cdot ^\circ C)/ккал$; определяется для ширм при сжигании твердого и жидкого топлив, а также для шахматных пакетов при сжигании твердого топлива по § 7-Б,д. Для коридорных пакетов и настенных труб при сжигании твердого топлива и для всех поверхностей при сжигании жидкого топлива определяется по п. 7-36. При сжигании газа $\varepsilon=0$;

α_k и $\alpha_{л.об}$ — коэффициенты теплоотдачи конвекцией и межтрубным излучением, находятся по п. 13 и 14 при температуре газов ϑ_p ; для настенных труб, расположенных в области конвективных пакетов, они принимаются такими же, как для этих пакетов, — см. п. 8-07;

$k_{тр}$ — коэффициент неравномерности тепловосприятия по окружности трубы при поперечном омывании, принимается в зависимости от формы пучка и порядкового номера ряда по данным табл. IV-7. Для настенных труб в области конвективных газопроводов величина $k_{тр}$ принимается равной 1.

Остальные обозначения — см. формулу (IV-1).

13. Средний по поверхности трубы коэффициент теплоотдачи конвекцией α_k , подставляемый в формулу (IV-18), определяется для рассчитываемого ряда с учетом предварительной турбулизации потока. Для труб первого ряда любого пучка и ширм значения коэффициента теплоотдачи конвекцией в лобовой точке практически одинаковы при прочих равных условиях; поэтому для этих труб α_k находится как для двухрядного шахматного пучка (номограмма 13); для ширм — при $G_s=1$. Для последующих рядов принимается: для труб второго ряда пучков — по величине C_z для четырехрядного пучка соответствующей компоновки, для труб третьего и последующих рядов $C_z=1$. Для труб ширм, начиная со второго ряда, $C_z=1$ при определении α_k по номограмме 12.

14. Коэффициент теплоотдачи излучением $\alpha_{л.об}$, подставляемый в формулу (IV-18), определяется в зависимости от номера ряда.

Для труб первого ряда пучка, расположенного за топкой или за газовым объемом (ширмами), а также для смещенной на 180° от лобовой точки последнего ряда, за которым расположен объем глубиной не менее

$3s_2$, коэффициент теплоотдачи излучением находится по излучению из топки (объема, ширм):

$$\alpha_{л.об} = \frac{q_{л}}{\vartheta_p - t_3}, \text{ ккал}/(м^2 \cdot ч \cdot ^\circ C), \quad (IV-19)$$

$q_{л}$ — удельное тепловосприятие излучением из топки (ширм, газового объема) — см. п. 9.

Если проверяемые трубы и расположенный перед ними газовый объем отделены от топки (ширм) фестоном или пучком с числом рядов труб (по ходу газов) не более четырех, также следует учитывать излучение, падающее на трубы из топки (ширм):

$$\alpha_{л.об+т} = \alpha_{л.об} + \frac{q_{л}}{\vartheta_p - t_3} (1 - x_{пуч}) (1 - a_{об}), \quad (IV-19a)$$

ккал/(м² · ч),

где $x_{пуч}$ — угловой коэффициент пучка, расположенного между топкой и объемом;

$a_{об}$ — степень черноты объема.

Если проверяемые трубы пакета (ширм) отделены от предшествующих ширм только объемом, то расчет $\alpha_{л}$ ведется по формуле (IV-19a) без введения члена $(1 - x_{пуч})$, учитывающего поглощение промежуточным пучком.

Для труб второго ряда коридорного пучка, со второго по четвертый ряд шахматного пучка и всех остальных рядов ширм коэффициент теплоотдачи излучением подсчитывается с учетом коэффициента облученности из топки или газового объема перед пучком по формуле

$$\alpha_{л} = \varphi_t \alpha_{л.об+т} + (1 - \varphi_t) \alpha_{л.мтр}, \text{ ккал}/(м^2 \cdot ч \cdot ^\circ C). \quad (IV-20)$$

Здесь φ_t — коэффициент облученности из топки (объема) наиболее нагруженной образующей трубы.

Для труб первого ряда, расположенных непосредственно за топкой (объемом), а также для тыльной образующей последней трубы перед объемом принимается $\varphi_t=1$; для труб второго ряда коридорного пучка, со второго по четвертый ряд шахматного пучка и всех остальных рядов ширм φ_t определяется по графикам номограмм 38—40.

Для труб коридорных пучков, начиная с третьего ряда, и шахматных пучков, начиная с пятого ряда, учитывается только межтрубное излучение и принимается $\varphi_t=0$.

Для случаев, не охваченных вышеуказанными номограммами, величина φ_t определяется графическим построением (см. п. 15).

При вычислении коэффициента теплоотдачи между трубным излучением $\alpha_{л.мтр}$ толщину излучающего слоя подсчитывают согласно п. 7-35 по фактическим шагам труб на проверяемом участке.

Температурой загрязненной стенки t_3 для определения коэффициента $\alpha_{л.мтр}$ в ширмовых поверхностях нагрева задаются предварительно. После определения q_0 по формуле (IV-17) подсчитывают среднее для ряда (элемента) значение наружной температуры металла стенки труб $t_{н.ср}$:

$$t_{н.ср} = t + \beta \mu q_0 \left(\frac{\delta}{\lambda_m \beta + 1} + \frac{1}{\alpha_2} \right), \text{ } ^\circ\text{C}. \quad (\text{IV-21})$$

Обозначения — см. формулу (IV-1).

Далее определяют величину t_3 по формуле:

$$t_3 = t_{н.ср} + 0,25 \epsilon q_0, \text{ } ^\circ\text{C}. \quad (\text{IV-21a})$$

Величина $\alpha_{л.мтр}$ уточняется в тех случаях, когда значение t_3 по формуле (IV-21a) отличается от ранее принятого более чем на 50°C , а при $\vartheta_p - t_3 \leq 150^\circ\text{C}$ — более чем на 25°C .

Коэффициент теплоотдачи излучением для объемов различной формы, при близко расположенных одиночных трубах и т. п. должен рассчитываться с помощью общей формулы для S (7-53).

15. Коэффициент облученности для случаев, не охваченных номограммами 38—40, определяется графическим построением (рис. IV-2).

Для этого:

а) в произвольном масштабе вычерчиваются проверяемая труба и трубы впереди лежащих рядов (по три трубы в ряду с одной стороны проверяемой);

б) из точки O с максимумом тепловосприятия на проверяемой трубе (см. табл. IV-7) проводится полуокружность, ограниченная диаметром AB , касательным к окружности трубы в указанной точке;

в) из точки O проводятся лучи, касательные к трубам впереди лежащих рядов; эти лучи не должны пересекать ни одной впереди лежащей трубы;

г) участки дуги полуокружности, заключенные между двумя соседними лучами, ограничивающими свободное от труб пространство, проектируются на диаметр AB ;

д) коэффициент облученности для точки O равен отношению суммы проекций указанных участков к длине диаметра.

16. Коэффициент теплоотдачи от стенки к внутренней среде определяется по номограмме 15 для пара докритического давления при всех тепловых нагрузках, а также для пара сверхкритического давления при $q_{\max} \leq 300 \cdot 10^3 \text{ ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ (по температурам номограмму экстраполировать не следует). Для некипящей воды давлением $p \leq 180 \text{ кгс/см}^2$ α_2 определяется по номограмме 16, для кипящей — по номограмме 36. Для некипящей воды $p > 180 \text{ кгс/см}^2$ α_2 определяется по Нормам гидравлического расчета. Для среды сверхкритического давления в области, не охваченной номограммой 15, величина α_2 находится по номограмме 35.

17. Коэффициент растечки μ для труб первого ряда конвективных перегревателей с $s_1/d < 3$ при шахматном или коридорном расположении и труб второго ряда с шахматным фестономированием перегревателей определяется по номограмме 41, а, а для труб всех последующих рядов — по номограмме 41, б.

Для труб первого ряда фестономированных ($s_1/d \geq 3$) и ширмовых перегревателей растечка тепла не учитывается; для труб остальных рядов ширмовых перегревателей коэффициент растечки определяется по номограмме 42 по линии, соответствующей $s_1/d = 1,1$.

При определении температуры тыльной образующей труб последнего ряда ширм и шахматных пучков растечка не учитывается; для труб коридорных пучков коэффициент растечки определяется по номограмме 41, б.

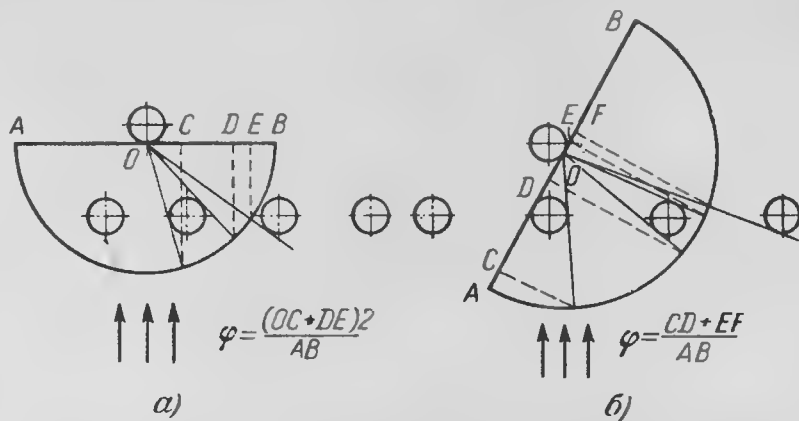


Рис. IV-2. Построение коэффициентов облученности.

а — коэффициент облученности для лобовой образующей трубы, находящейся в промежутке между трубами впереди стоящего ряда; б — коэффициент облученности для боковой образующей трубы, находящейся в затылке трубы впереди стоящего ряда.

Для труб настенных радиационных поверхностей независимо от их расположения относительно обмуровки ($\epsilon \geq 0$) коэффициент растечки определяется по номограмме 42; для труб двусветных экранов — по номограмме 43.

Коэффициент растечки по графикам номограмм 41—43 определяется в зависимости от критерия Био:

$$Bi = \frac{d \alpha_2}{2 \beta \lambda_m}, \quad (\text{IV-22})$$

где d — наружный диаметр труб, м.

Остальные обозначения — см. формулу (IV-1).

18. Для предупреждения чрезмерных выбегов температуры стенки при ухудшенных условиях эксплуатации помимо обычного расчета определяется температура стенки $t'_{ст}$, соответствующая временному увеличению неравномерности тепловосприятия; по этой температуре дополнительно проверяется прочность; результаты проверки не вносят в расчеты, представляемые с паспортом котла.

При определении $t'_{ст}$ значения средней для элемента температуры газов и среды, а также коэффициентов теплопередачи принимаются такими же, как в основном расчете температуры стенки; величины коэффициентов неравномерности η_t (по табл. IV-4 и IV-6) и $\eta_{ш.макс}$ (по п. 7) повышаются на величину $\Delta\eta$.

Значение $\Delta\eta$ для радиационных поверхностей выбирается из табл. IV-8 в зависимости от типа элементов (панелей).

Таблица IV-8

Тип элементов (панелей)	$\Delta\eta$
Одноходовые	0,25
Многоходовые	0,2
Мембранные стенки	0,15

Для ширмовых и конвективных поверхностей значение $\Delta\eta$ принимается в зависимости от вида топлива: при сжигании всех топлив, кроме газа, $\Delta\eta = 0,25$; при сжигании газа $\Delta\eta = 0,15$.

Величина $q_{\max}$, как и в основном расчете, не должна превышать значений, приведенных в табл. IV-5. При этом приведенное напряжение в трубе от внутреннего давления может превышать до 20% величину номинального допускаемого напряжения при температуре стенки $t'_{ст}$ (при определении допускаемого напряжения по тем же данным и с тем же коэффициентом

запаса, по которым оно принималось для расчета прочности при температуре $t_{ст}$). Если превышение будет больше 20%, необходимы конструктивные изменения (переконпоновка элементов поверхностей нагрева, дополнительные точки перемешивания обогреваемой среды, увеличение скорости и др.), в отдельных случаях — изменение толщины стенок или материала труб.

Температура обогреваемых труб при повышенных коэффициентах неравномерности тепловосприятия определяется для следующих режимов:

а) для поверхностей нагрева с энтальпией на выходе из развернутой трубы $i > 650$ ккал/кг при номинальной нагрузке котла на топливе, на котором получена наибольшая расчетная температура стенки; температура питательной воды номинальная;

б) для поверхностей нагрева с энтальпией на выходе из развернутой трубы $i \leq 650$ ккал/кг при номинальной нагрузке, для минимальной (растопочной) нагрузки на растопочном топливе — см. табл. IV-5.

При расчете на частичных нагрузках температура питательной воды для котлов блочных установок принимается соответствующей данному режиму, а для котлов неблочных установок — номинальной.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАСЧЕТУ ТЕМПЕРАТУРЫ СТЕНОК ТРУБ ЦЕЛЬНОСВАРНЫХ ПАНЕЛЕЙ

Ниже приняты следующие определения. Трубы соединяются в цельносварную панель перемычками. Половина соединительной перемычки, прилегающая к трубе, называется плавником независимо от технологии изготовления панелей (из плавниковых труб, сварных проставок и т. п.).*

Основные рекомендации даны для следующих условий:

а) перемычка соединяет трубы одинакового диаметра;

б) температура среды и коэффициенты теплоотдачи от стенки трубы к среде одинаковы в обеих трубах;

в) перемычка, соединяющая трубы, расположена в диаметральной плоскости трубы (относительное расстояние от тыльной точки трубы до оси плавника $u/d = 0,5$).

Если какие-либо из перечисленных условий изменяются, даются дополнительные рекомендации.

19. Температура стенки плавниковых труб настенных радиационных поверхностей на лобовой образующей определяется как для гладких труб; это распространяется, с достаточным приближением, и на величину коэффициента растечки. Для лобовых точек плавниковых труб при двустороннем облучении он определяется по номограмме 44.

Температура t_v в вершине прямоугольного, трапециевидного и комбинированного трапециевидно-прямоугольного¹ плавников (см. рисунки на номограммах 44 и 46,б) определяется по формуле

$$t_v = t_k + k_c \Delta t_{пл}, \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (\text{IV-23})$$

где k_c — коэффициент учета влияния сварных швов, определяется по номограмме 46,б (для труб с приваренными плавниками);

¹ При выборе формы плавника необходимо учитывать, какой она станет после сварки гладких или металлургических плавниковых труб в панель. В частности, при сварке гладких труб с сварными прямоугольными проставками (под слоем флюса) форма плавников получается комбинированной трапециевидно-прямоугольной; при сварке металлургических плавниковых труб с трапециевидными плавниками последние практически превращаются в прямоугольные.

$\Delta t_{пл}$ — перепад температур между корнем и вершиной прямоугольного плавника;

t_k — температура в основании (корне) плавника,

$$t_k = t + \Delta t_t + \beta \mu_k q_{\max} \left(\frac{\delta}{\lambda_m \beta + 1} + \frac{1}{\alpha_2} \right). \quad (\text{IV-24})$$

Величина коэффициента растечки в корне плавника μ_k вычисляется по формуле

$$\mu_k = 0,35 + 0,1 \frac{b_k}{d} + K_\alpha K_\beta K_s, \quad (\text{IV-25})$$

где b_k — толщина корня плавника; K_α , K_β , K_s определяются по номограмме 45.

Остальные обозначения — см. формулу (IV-1).

Для смещенного плавника ($u/d \neq 0,5$) значение μ_k в формуле (IV-24) умножается на поправку C_u *, определяемую по номограмме 46,а.

Значение $\Delta t_{пл}$ рассчитывается по формуле

$$\Delta t_{пл} = \mu_{пл} \frac{q_{\max} h}{\lambda_{м.пл}} A, \quad (\text{IV-26})$$

где $\mu_{пл}$ — коэффициент растечки в вершине плавника, определяемый по номограмме 47, в зависимости от s/d , u/d и b_v/d ;

h — высота плавника;

A — коэффициент формы, определяемый по номограмме 48, зависящий от отношений h/b_k и $a = b_v/b_k$, где b_v — толщина плавника в вершине;

$\lambda_{м.пл}$ — коэффициент теплопроводности металла плавника, ккал/(м·ч·°C), определяемый из табл. IV-1 по средней температуре, примерно равной полусумме температур t_k и t_v . Для определения величины $\lambda_{м.пл}$ принимается температура, равная $(t + 100)$, °C.

При степени черноты факела $a_\phi \leq 0,7$ следует учитывать переизлучение с трубы на плавник. В соответствии с этим при $0,5 \leq a_\phi \leq 0,7$ коэффициент растечки μ_k в формуле (IV-25) и величина $\Delta t_{пл}$ в формуле (IV-26) умножаются на коэффициент 1,1.

Температура t_v для экранов двустороннего облучения также рассчитывается по (IV-23). При этом температура в корне плавника вычисляется по формуле

$$t_k = t + \Delta t_t + 2\beta \mu_k q_{\max} \left(\frac{\delta}{\lambda_m \beta + 1} + \frac{1}{\alpha_2} \right), \quad (\text{IV-24a})$$

а величина $\Delta t_{пл}$ по формуле

$$\Delta t_{пл} = \frac{q_{\max} h}{2\lambda_{м.пл}} \left[(\mu_{пл} + \Delta \mu_{пл}) \frac{h}{b} + 0,25 (3\mu_{пл} - \Delta \mu_{пл}) \frac{b}{h} \right], \quad (\text{IV-26a})$$

где $\Delta \mu_{пл}$ — поправка на двустороннее облучение, определяемая по номограмме 49.

20. Для плавниковых труб, находящихся в зоне в основном конвективного тепловосприятия, принимается равномерное распределение теплового потока по обогреваемой части трубы и плавника.

Температура стенки трубы в лобовой точке рассчитывается по формуле (IV-1), причем коэффициент растечки определяется по номограмме 50.

Температура t_v в вершине симметрично расположенного плавника труб при конвективном тепловосприятии определяется по формулам (IV-23), (IV-24) и (IV-26).

* Значения поправки C_u могут быть использованы только при $s/d \geq 1,3$; $1,2 \leq \beta \leq 1,8$; $2,0 \leq Bi \leq 10$.

Величина коэффициента растечки в корне плавника в этом случае вычисляется по уравнению

$$\mu_k = 0,49 + K'_a K'_p K'_s. \quad (IV-25a)$$

K'_a, K'_p, K'_s находятся по номограмме 51.

Коэффициент растечки $\mu_{пл}$ в формуле (IV-26) принимается равным 1.

21. При расчете температуры металла плавниковых труб разделительной стенки, отделяющей топку от конвективного газохода, температура в лобовых точках трубы определяется для стороны, обращенной в топку, как для гладких труб настенных экранов, а для стороны, обращенной в конвективную шахту, — по п. 20.

Температура в корне плавника в этом случае вычисляется по формуле

$$t_k = t + \Delta t_T + \beta (\mu_{1k} q_{1\max} + \mu_{2k} q_{2\max}) \left(\frac{\delta}{\lambda_m \beta + 1} + \frac{1}{\alpha_2} \right), \quad (IV-27)$$

где $q_{1\max}$ и $q_{2\max}$ — соответственно тепловые нагрузки, $\text{ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$, для сторон, обращенных в топку и в конвективную шахту;

μ_{1k} и μ_{2k} — соответственно коэффициенты растечки, определяемые по номограммам 45 и 51.

Перепад температур между вершиной и корнем прямоугольного плавника вычисляется по формулам: для вершины плавника, обращенной в топку,

$$\Delta t_{пл} = \frac{h}{2\lambda_{м.пл}} \left[(q_{1\max} \mu_{пл} + q_{2\max}) \frac{h}{b_k} + 0,25 (3q_{1\max} \mu_{пл} - q_{2\max}) \frac{b_k}{h} \right]; \quad (IV-28a)$$

для вершины плавника, обращенной в конвективную шахту,

$$\Delta t_{пл} = \frac{h}{2\lambda_{м.пл}} \left[(q_{1\max} \mu_{пл} + q_{2\max}) \frac{h}{b_k} + 0,25 (3q_{2\max} - q_{1\max} \mu_{пл}) \frac{b_k}{h} \right]. \quad (IV-28b)$$

Для трапециевидного плавника $\Delta t_{пл}$ приближенно вычисляется, как для прямоугольного такой же высоты и равной площади сечения.

22. Среднеинтегральная температура плавниковой трубы, используемая для определения напряжений в ней, вычисляется по формуле

$$\bar{t} = \frac{F_{тр} \bar{t}_{тр} + 2F_{пл} \bar{t}_{пл}}{F_{тр} + 2F_{пл}}. \quad (IV-29)$$

Здесь $F_{тр}$, $F_{пл}$ — соответственно площади сечения трубы и плавника;

$\bar{t}_{тр}$, $\bar{t}_{пл}$ — соответственно среднеинтегральные температуры металла сечения трубы и плавника.

Для сечения трубы, в том числе гладкой:

$$\bar{t}_{тр} = t + \Delta t_T + q_{\max} \kappa \left(\frac{\beta}{\alpha_2} + \frac{\delta}{2\lambda_m} \right), \quad (IV-30)$$

где $\kappa = \frac{q_{ср}}{q_{\max}}$ — относительная средняя тепловая нагрузка, определяемая для случая тепловосприятия излучением по графику номограммы 52,а.

Для прямоугольного плавника

$$\bar{t}_{пл} = t_k + \frac{a_0}{6} \frac{q_{\max} h^2}{\lambda_{м.пл} b} \left[1 + \frac{1}{8} \left(\frac{b}{h} \right)^2 \right], \quad (IV-31)$$

a_0 находится по графику номограммы 53.

Для трапециевидного плавника

$$\bar{t}_{пл} = t_k + \frac{a_0 q_{\max} h^2}{6\lambda_{м.пл} b} M. \quad (IV-31a)$$

Величина M определяется по графику номограммы 54.

В случае тепловосприятия конвекцией κ из (IV-30) определяется по графику номограммы 52,б, а для расчета среднеинтегральной температуры плавника вместо уравнений (IV-31) и (IV-31a) используются соответственно формулы:

$$\bar{t}_{пл} = t_k + \frac{1}{3} \frac{q_{\max} h^2}{\lambda_m b_k} \left[1 + \frac{1}{8} \left(\frac{b_k}{h} \right)^2 \right] \quad (IV-32)$$

и

$$\bar{t}_{пл} = t_k + \frac{1}{3} \frac{q_{\max} h^2}{\lambda b_k} M. \quad (IV-32a)$$

РАСЧЕТ ПРИ ТЕПЛОВОЙ И (ИЛИ) ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ АСИММЕТРИИ

Настоящая методика предназначена для расчета температур металла цельносварных экранов с прямоугольными перемычками.

23. Под тепловой асимметрией понимается случай, когда в двух соединенных перемычкой трубах различаются температуры сред $t^{(1)}$ и $t^{(2)}$ ($t^{(1)} > t^{(2)}$) и коэффициенты теплоотдачи $\alpha^{(1)}_2$ и $\alpha^{(2)}_2$.

В частном случае возможно при $t^{(1)} \neq t^{(2)}$ $\alpha^{(1)}_2 = \alpha^{(2)}_2$ и наоборот.

Под геометрической асимметрией понимается случай соединения перемычкой труб разных диаметров d_1 и d_2 ($d_1 > d_2$) или труб с разными толщинами стенок.

Температура стенки на лобовой образующей при тепловой и геометрической асимметрии определяется соответственно для каждой из труб как для гладких.

Во всех случаях тепловой и (или) геометрической асимметрии параметры, необходимые для пользования графиками, принимаются соответствующими для каждой трубы (например, $Bi^{(1)}$ — для одной трубы и $Bi^{(2)}$ — для другой, d_1 и d_2 и т. д.).

24. Температуры в корнях перемычки рассчитываются по формулам:

$$t^{(1)}_k = t^{(1)} + \Delta t^{(1)}_T + q_{\max} \beta_1 (\mu^{(1)}_{к.п} + I_0 m \mu^{(1)}_{к.п}) \left(\frac{\delta_1}{\lambda_m \beta_1 + 1} + \frac{1}{\alpha^{(1)}_2} \right); \quad (IV-33)$$

$$t^{(2)}_k = t^{(2)} + \Delta t^{(2)}_T + q_{\max} \beta_2 \left[\mu^{(2)}_{к.п} + I_0 (1 - m) \frac{d_1}{d_2} \mu^{(2)}_{к.п} \right] \left(\frac{\delta_2}{\lambda_m \beta_2 + 1} + \frac{1}{\alpha^{(2)}_2} \right), \quad (IV-33a)$$

где $\mu^{(1)}_{к.п}$ — коэффициент растечки в корне перемычки, обусловленный подводом тепла к трубе перемычкой; определяется по графику номограммы 55 по параметрам, характеризующим первую трубу ($Bi^{(1)}$, β_1 , b/d_1);

$\mu^{(2)}_{к.п}$ — то же по параметрам, характеризующим вторую трубу ($Bi^{(2)}$, β_2 , b/d_2);

I_0 — определяется по графику номограммы 56.

Коэффициент смещенности максимума температур m представляет собой отношение расстояния от прилегающего к трубе 1 корня перемычки до точки максимума температур к полной высоте перемычки $H = 2h$.

Величина его определяется по формуле

$$m = 0,5 - Z(1 - P_0) + 0,015 \left(1 - \frac{d_2}{d_1}\right); \quad (IV-34)$$

$$P_0 = \frac{0,25 \frac{H}{b} + \mu^{(2)}_{к.п} B_2 + \frac{1}{a_0} \left[\frac{d_1}{H} \left(\frac{d_2}{d_1} \mu^{(2)}_{д} B_2 - \right. \right.}{0,25 \frac{H}{b} + 0,5 (\mu^{(2)}_{к.п} B_2 + \mu^{(1)}_{к.п} B_1) - \left. \left. \mu^{(1)}_{д} B_1 \right) \right] + \lambda_{м.пл} \frac{t^{(2)} - t^{(1)}}{H q_{\max}}}{\rightarrow} \quad (IV-35)$$

$$B_1 = \frac{\beta_1 - 1}{\beta_1 + 1} + \frac{1}{2 Bi^{(1)}}; \quad B_2 = \frac{\beta_2 - 1}{\beta_2 + 1} + \frac{1}{2 Bi^{(2)}}.$$

Коэффициент a_0 определяется по номограмме 53. Коэффициент Z принимается равным 0,45 при $s/d \geq 1,4$ и 0,43 при $s/d < 1,4$.

μ_d — коэффициент растечки, обусловленный облучением дуги трубы факелом, вычисляется по формуле

$$\mu_d = \mu^0_d + \Delta \mu_d.$$

μ^0_d — коэффициент растечки для труб одинакового диаметра, определяется по номограмме 57, а $\Delta \mu_d$ — по номограмме 58 (в случае $d_2 = d_1$ $\Delta \mu_d = 0$).

Коэффициент растечки μ_d находится отдельно для каждой из соседних труб.

Определение $\mu^{(1)}_d$, $\mu^{(2)}_d$ и поправок $\Delta \mu^{(1)}_d$, $\Delta \mu^{(2)}_d$ ведется по параметрам, характеризующим соответствующую трубу (Bi , β , b/d), кроме относительного шага, принимаемого в обоих случаях равным s/d_1 .

25. Значение $\Delta t_{п}$ для участка перемычки от корня до сечения с максимальной температурой вычисляется по формуле

$$\Delta t_{п} = \mu_{п} \frac{H q_{\max}}{2 \lambda_{м.пл}} \left[\frac{H}{b} m (P_0 - m) + 0,75 \frac{b}{H} \right], \quad (IV-36)$$

где

$$\mu_{п} = \mu_{пл} + K_d \left(1 - \frac{d_2}{d_1}\right);$$

K_d определяется по графику номограммы 59;

m находится по формуле (IV-34);

P_0 — по (IV-35);

$\mu_{пл}$ — по номограмме 47.

26. Среднеинтегральные температуры плавниковых труб при тепловой и (или) геометрической асимметрии определяются (с обеспечением некоторого запаса по расчетным напряжениям) так же, как и при отсутствии асимметрии.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАСЧЕТУ ТЕМПЕРАТУРЫ СТЕНКИ ОШИПОВАННОЙ ТРУБЫ

27. Средняя по толщине температура металла стенки трубы под шипом вычисляется по формуле

$$t_{ст} = t + \Delta t_{т} + A (\mu, \psi, f_{ш}) q_{\max} \beta \left(\frac{\delta}{\lambda_{м} \beta + 1} + \frac{1}{\alpha_2} \right), \quad ^\circ\text{C}. \quad (IV-37)$$

Температура наружной поверхности трубы под шипом

$$t_{ст.н} = t + \Delta t_{т} + A (\mu, \psi, f_{ш}) q_{\max} \times \times \beta \left(\frac{\delta}{\lambda_{м} \beta + 1} + \frac{1}{\alpha_2} \right), \quad ^\circ\text{C}, \quad (IV-38)$$

где $f_{ш}$ — плотность шипования:

$$f_{ш} = 0,785 \frac{n d_{ш}^2}{s s_{ш}} \text{ — для экранной поверхности;}$$

$$f_{ш} = 0,785 \frac{n d_{ш}^2}{2(d + 2l_{ш})s_{ш}} \text{ — для шлакоулавливающего}$$

пучка;

n , $s_{ш}$ — соответственно число рядов шипов на трубе, продольный шаг шипов; s , d , $l_{ш}$, $d_{ш}$ — шаг, диаметр труб, длина и диаметр шипов; ψ — концентрация теплового потока в ножке шипа, определяемая по номограмме 60 в зависимости от $f_{ш}$, $\lambda_{ш}/\lambda_{м}$, $l_{ш}/d_{ш}$.

В рабочей области температур можно принимать следующие значения коэффициентов теплопроводности:

Набивка	λ , ккал/(м × × ч · °С)
Карборундовая	5
Хромитовая	1,5
Корундовая	1,0
Хромомагнетитовая	1,0
Шипы	
Шипы из углеродистой стали	29
Шипы из стали 12Х1МФ	26
Шипы из сикромалевого стали	21

Коэффициент растечки μ определяется по номограмме

$$61 \text{ при параметрах } d_{тр}/s_{ш}; d_{ш}/d; \beta = \frac{d}{d - 2\delta}; Bi = \frac{\alpha_2 d}{2\beta \lambda_{м}}$$

в зависимости от числа рядов шипов (два или больше).

Комплекс A определяется по номограмме 62 в зависимости от параметров $f_{ш}$, μ , $\frac{\psi(\mu - f_{ш})}{1 - f_{ш}}$.

Остальные обозначения — см. формулу (IV-1).

ПРИЛОЖЕНИЕ V

РАСЧЕТ ТЕПЛООБМЕНА В ОДНОКАМЕРНЫХ ТОПКАХ ПО МЕТОДУ ВТИ—ЭНИН

1. В основу метода положены закономерности процесса радиационного теплообмена в камере, заполненной излучающей средой и имеющей поверхность нагрева, обмуровку и в общем случае слой горящего топлива.

Такой подход позволяет учесть в явном виде влияние на теплообмен ряда факторов: температуры тепло-

носителя, термического сопротивления загрязняющего слоя золы отложений и степени его черноты, селективности излучения топочных газов и т. д.

Принципиальные основы этого метода могут быть использованы для дальнейших разработок и усовершенствования методов расчета теплообмена в топочных камерах.

2. Метод расчета основывается на системе четырех уравнений, описывающих процесс теплообмена в топочных камерах.

Уравнение радиационного теплообмена топочной среды с поверхностями нагрева

$$Q_{\text{л}} = \frac{\sigma_0 \alpha_{\text{к}} H_{\text{л}}}{B_{\text{р}} \kappa} (T_{\text{ф}}^4 - T_{\text{з}}^4), \text{ ккал/кг.} \quad (\text{V-1})$$

Уравнение теплового баланса топочной камеры

$$Q_{\text{л}} = \varphi V c_{\text{ср}} (T_{\text{а}} - T''_{\text{т}}) = \varphi (Q_{\text{т}} - I''_{\text{т}}), \text{ ккал/кг.} \quad (\text{V-2})$$

Уравнение теплопередачи между внешним слоем загрязнений поверхности нагрева и теплоносителем:

$$Q_{\text{л}} = \frac{H_{\text{л}}}{B_{\text{р}} \left(\varepsilon + \frac{1}{\alpha_2} \right)} (T_{\text{з}} - T_{\text{ср}}), \text{ ккал/кг.} \quad (\text{V-3})$$

Эмпирическое уравнение для определения эффективной температуры топочной среды

$$T_{\text{ф}} = T''_{\text{т}} \left(1 + \sum_{i=1}^n \Delta_i \right), \text{ К.} \quad (\text{V-4})$$

Эта система уравнений в безразмерном виде:

$$\kappa \frac{\text{Bo}^*}{\alpha_{\text{к}}} (1 - \theta_{\text{т}}) = \theta_{\text{ф}}^4 \theta_{\text{т}}^4 - \theta_{\text{з}}^4; \quad (\text{V-1a})$$

$$\text{Bo}^* (1 - \theta_{\text{т}}) = \frac{q_{\text{л}}}{\sigma_0 T_{\text{а}}^4}; \quad (\text{V-2a})$$

$$\theta_{\text{з}} = \theta_{\text{ср}} + \frac{\left(\frac{1}{\alpha_2} + \varepsilon \right) q_{\text{л}}}{T_{\text{а}}}; \quad (\text{V-3a})$$

$$\theta_{\text{ф}} = 1 + \sum_{i=1}^n \Delta_i. \quad (\text{V-4a})$$

Здесь $Q_{\text{л}}$ и $q_{\text{л}}$ — тепло, переданное в топке, ккал/кг и ккал/(м² · ч);

$\sigma_0 = 4,9 \cdot 10^{-8}$ — коэффициент излучения абсолютно черного тела, ккал/(м² · К⁴);

$\alpha_{\text{к}}$ — приведенная степень черноты топочной камеры (см. п. 4);

κ — коэффициент, учитывающий влияние селективности среды на радиационный теплообмен (см. п. 7);

$H_{\text{л}}$ — лучевоспринимающая поверхность нагрева топки, м² (см. п. 6-03);

$B_{\text{р}}$ — расчетный расход топлива, определяемый по формуле (5-20), кг/ч;

$T_{\text{ф}}$ и $\theta_{\text{ф}} = T_{\text{ф}}/T_{\text{т}}$ — абсолютная (К) и относительная эффективные температуры топочной среды (см. п. 3);

$T''_{\text{т}}$ и $\theta_{\text{т}} = T''_{\text{т}}/T_{\text{а}}$ — абсолютная (К) и относительная температуры продуктов сгорания в выходном сечении топки ($T_{\text{а}}$ — адиабатическая температура сгорания топлива, К) (см. п. 9);

$T_{\text{з}}$ и $\theta_{\text{з}} = T_{\text{з}}/T_{\text{а}}$ — абсолютная (К) и относительная температуры поверхности слоя загрязнения;

$T_{\text{ср}}$ и $\theta_{\text{ср}} = T_{\text{ср}}/T_{\text{а}}$ — абсолютная (К) и относительная температуры среды, протекающей в трубах. Если они не одинаковы, то в уравнение вводится усредненная по лучевоспринимающей поверхности температура среды;

φ — коэффициент сохранения тепла;

$\varepsilon = \delta_{\text{зл}}/\lambda_{\text{зл}}$ — термическое сопротивление слоя загрязнения, (м² · ч · °С)/ккал;

$1/\alpha_2$ — термическое сопротивление на внутренней поверхности труб, (м² · ч · °С)/ккал; учитывается только при расчете экономайзерных и перегревателей поверхностей нагрева котлов докритических параметров;

$V c_{\text{ср}}$ — средняя суммарная теплоемкость продуктов сгорания 1 кг топлива в интервале температур $\theta''_{\text{т}} - \theta_{\text{а}}$, ккал/(кг · °С);

$Q_{\text{т}}$ — полезное тепловыделение в топке, ккал/кг; (см. п. 9);

$I''_{\text{т}}$ — энтальпия продуктов сгорания 1 кг топлива при температуре $\theta''_{\text{т}}$ и избытке воздуха в конце топки $\alpha_{\text{т}}$, ккал/кг;

$\text{Bo}^* = \frac{\varphi B_{\text{р}} V c_{\text{ср}}}{H_{\text{л}} \sigma_0 T_{\text{а}}^3}$ — безразмерный критерий Больцмана.

При конструктивном расчете топочных камер применяется система уравнений (V-1) — (V-4); при проверочном — (V-1a) — (V-4a); первая решается непосредственно, для решения второй приходится прибегать к методу последовательных приближений.

Для решения уравнения (V-1a) целесообразно использовать номограмму 10, при этом параметры A и C вычисляются по формулам

$$A = \frac{\text{Bo}^* \kappa}{\alpha_{\text{к}} \theta_{\text{ф}}^4}; \quad C = \frac{\theta_{\text{з}}^4}{\theta_{\text{ф}}^4}.$$

После определения температуры на выходе из топки по уравнению (V-2) рассчитывается количество тепла, переданное в топочной камере $Q_{\text{л}}$. При расхождении его с предварительно принятым значением $Q_{\text{л}}$ более чем на 10% расчет необходимо повторить.

Для определения Bo^* необходимо предварительно задаться температурой на выходе из топки $\theta''_{\text{т}}$; расчет повторяется при отличии полученной температуры от предварительно принятой более чем на 100 °С.

3. Эффективная температура топочной среды определяется по уравнению (V-4) или (V-4a).

Для камерных топок

$$\sum_{i=1}^n \Delta_i = \Delta_{\text{р}} + \Delta_{\text{ф}} + \Delta_{\text{х}}, \quad (\text{V-5})$$

где Δ_i — поправки, учитывающие влияние на $T_{\text{ф}}$ ($\theta_{\text{ф}}$) различных факторов: рода топлива $\Delta_{\text{р}}$, угла наклона горелок к горизонтالي $\Delta_{\text{ф}}$, степени экранирования топочной камеры $\Delta_{\text{х}}$.

Поправки на род топлива $\Delta_{\text{р}}$ приведены в табл. V-1.

Таблица V-1

Топливо	$\Delta_{\text{р}}$
Природный газ	0,1
Мазут	0,12
Бурые* и каменные угли	0,06
АШ, тощие угли и высокозольные каменные (типа экибастузского)	0,02

* При сжигании бурых углей с $W_{\text{п}} > 14$ и газовой сушке $\Delta_{\text{р}} = 0,09$.

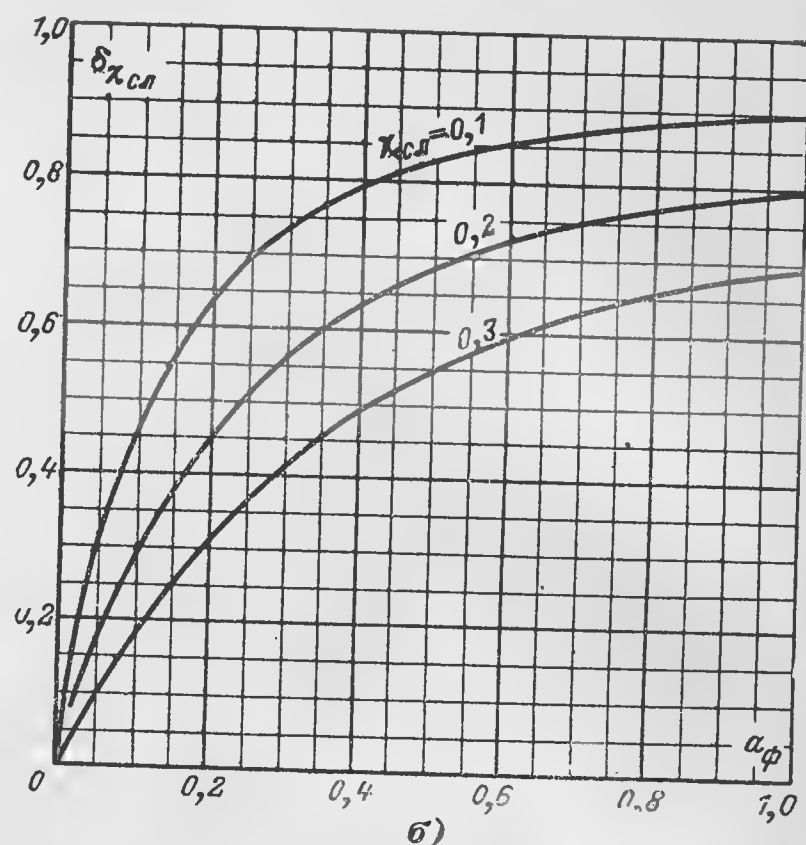
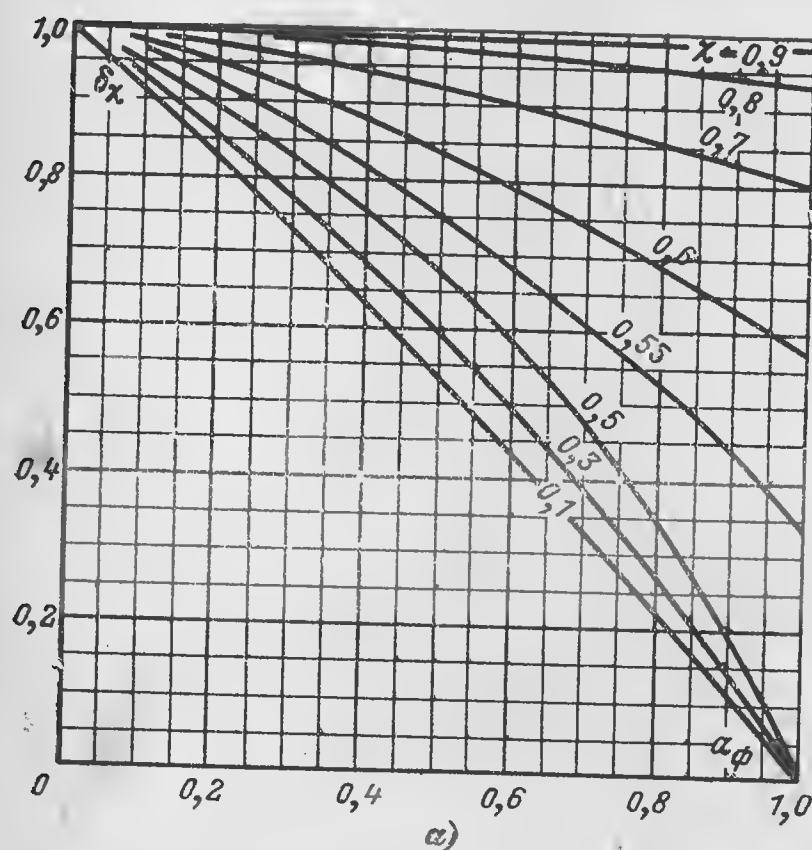


Рис. V-1. Поправка на степень экранирования для камерных топков (а) и на относительную величину зеркала горения для слоевых топков (б).

Величина Δ_φ определяется по выражению

$$\Delta_\varphi = 0,002\varphi,$$

где φ — угол наклона осей горелок к горизонтали, град; при отклонении факела от горизонтали вниз угол φ положительный.

Величина Δ_χ принимается равной 0 при $\chi > 0,4$ и $-0,04$ при $\chi \leq 0,4$.

Для слоевых топков:

1) при сжигании углей в толстом слое на цепной решетке или ручном забросе, а также при сжигании древесных отходов в топках со скоростными предтоп-

ками Померанцева: $\sum_{i=1}^n \Delta_i = 0,15$;

2) при сжигании углей в тонком слое в топках с забрасывателями: $\sum_{i=1}^n \Delta_i = 0,25$.

Указанным образом определяются средние значения эффективной температуры факела для топочных устройств, оборудованных горелками, выполненными в соответствии с рекомендациями приложения II и руководящими указаниями по проектированию горелок.

4. Приведенная степень черноты топочной камеры a_k определяется выражениями:

$$a_k = \frac{\tau}{\frac{1}{a_{\pi}} + \chi \left(\frac{1}{a_{\phi}} - 1 \right) \delta_{\chi}}, \quad (V-6)$$

где

$$\delta_{\chi} = \frac{1 - a_{\phi}}{1 - a_{\phi}\chi} \quad \text{при } \chi \leq 0,5;$$

$$\text{и } \delta_{\chi} = \frac{1 - a_{\phi} - \frac{2\chi - 1}{\chi} \left(1 - \frac{a_{\phi}}{\chi} \right)}{1 - a_{\phi}\chi - \frac{2\chi - 1}{\chi} (1 - a_{\phi})} \quad \text{при } \chi > 0,5.$$

При значениях $\chi \geq 0,8$ величина a_k может быть подсчитана по формуле

$$a_k = \frac{1}{\frac{1}{a_{\pi}} + \chi \left(\frac{1}{a_{\phi}} - 1 \right)}; \quad (V-7)$$

для слоевых топков

$$a_k = \frac{1}{\frac{1}{a_{\pi}} + \chi_{\pi} \left(\frac{1}{a_{\phi}} - 1 \right) \delta_{\chi_{\pi}}}, \quad (V-8)$$

где

$$\delta_{\chi_{\pi}} = \frac{1 - \chi_{\pi}}{1 + \chi_{\pi} \left(\frac{1}{a_{\phi}} - 1 \right)};$$

$$\chi_{\pi} = \frac{H_{\pi}}{H_{\pi} + H_o};$$

$$\chi_{\pi} = \frac{H_{\pi}}{H_{\pi} + H_o};$$

H_{π} — площадь зеркала горения слоя топлива, m^2 ;

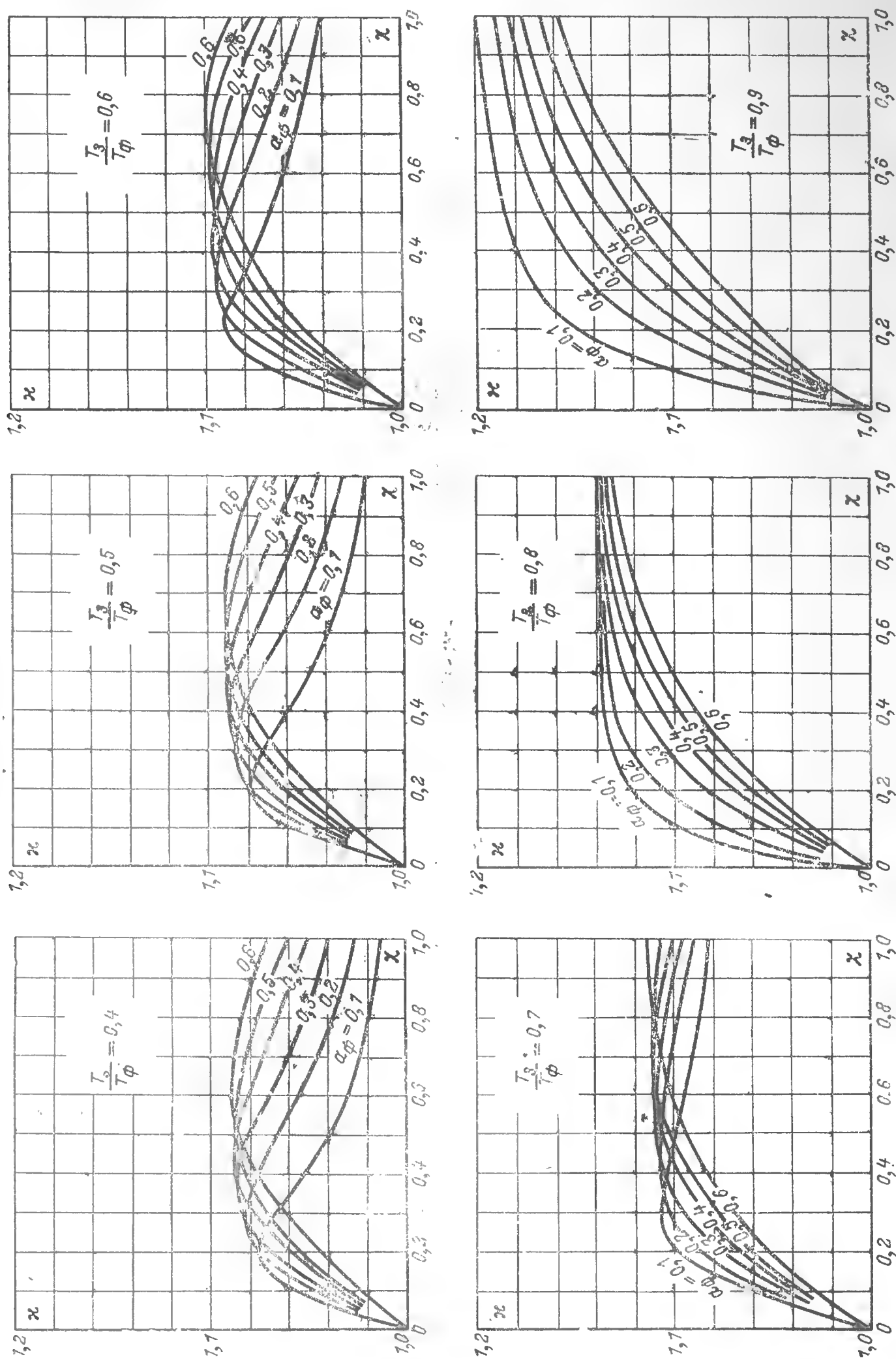


Рис. V-2. Графики для определения коэффициента χ , учитывающего влияние селективности среды.

$H_{л}, H_{о}$ — поверхности стен топки, занятые соответственно лучевоспринимающими поверхностями и обмуровкой, m^2 .

Величины δ_{χ} и $\delta_{\chi_{сл}}$ можно определить по графикам рис. V-1.

5. Усредненная эффективная поглощательная способность тепловоспринимающих поверхностей топочных камер:

$$a_{л} = a_{л.ош} \frac{H_{л.ош}}{H_{л}} + \sum_{i=1}^n a_{л.игл} \frac{H_{л.игл}}{H_{л}}, \quad (V-9)$$

где $H_{л.ош}/H_{л}$ и $H_{л.игл}/H_{л}$ — доли ошипованных и различных гладкотрубных поверхностей.

Эффективная поглощательная способность гладкотрубных экранов $a_{л.гг}$ определяется в зависимости от физической поглощательной способности $a_{ф.л}$ и относительного шага по номограмме 9; эффективная поглощательная способность плоскости входного сечения ширм — как произведение $\beta a_{л}$, где β определяется по рис. 6-4, а величина $a_{л}$ принимается такой же, как для гладкотрубных экранов.

Эффективная поглощательная способность ошипованных экранов $a_{л.ош}$ принимается равной физической поглощательной способности расплавленной шлаковой пленки; ее значения приведены в табл. V-2.

Таблица V-2

Поверхность нагрева и интервал температур	Физическая поглощательная способность $a_{ф.л}$
Чистые поверхности $t_3=200 \div 500$ °C	0,85
Экраны, загрязненные золой, $t_3=500 \div 1200$ °C	0,75
Экраны, ошипованные и покрытые пленкой жидкого шлака ¹ $t_3=1200 \div 1700$ °C	0,68

¹ Поглощательная способность ошипованных, но не покрытых пленкой жидкого шлака экранов при сжигании газа и мазута условно принимается равной 0,68.

6. При сжигании всех топлив, кроме газа, поглощательная способность факела $a_{ф}$ считается равной его излучательной способности (степени черноты) и определяется согласно указаниям § 6-Б.

7. При сжигании газа отличие его поглощательной способности от излучательной (степени черноты) учитывается введением в уравнение (V-1) или (V-1а) коэффициента κ , который определяется по графикам рис. V-2 в зависимости от степени экранирования χ , $T_3/T_{ф}$ и $a_{ф}$.

Во всех других случаях принимается $\kappa=1,0$.

8. Температура наружного слоя загрязнения лучевоспринимающей поверхности T_3 или θ_3 определяется уравнением (V-3) или (V-3а).

Если температура среды $T_{ср}$, входящая в эти уравнения, неодинакова, она усредняется пропорционально лучевоспринимающей поверхности нагрева.

Значения ϵ выбираются согласно табл. V-3.

При наличии в топке и гладкотрубных, и ошипованных экранов усредненное значение ϵ определяется выражением

$$\epsilon = 0,75 \epsilon_{ош} \frac{H_{л.ош}}{H_{л}} + \left(1 - 0,75 \frac{H_{л.ош}}{H_{л}}\right) \epsilon_{гг}. \quad (V-10)$$

9. Полезное тепловыделение в топке

$$Q_{т} = Q_{р} \frac{100 - q_3 - q_4 - q_6}{100 - q_4} + Q_{в} - Q_{в.вн} + r I_{г.отб}, \quad \text{ккал/кг}, \quad (V-11)$$

Таблица V-3

Тип экрана	Род топлива	$\epsilon, (m^2 \cdot ч \times \times^{\circ}C) / \text{ккал}$
Открытые гладкотрубные и плавниковые настенные	Газообразное	0
	Мазут	0,002
	Твердые топлива при камерном сжигании (в том числе экибастузский уголь при $R_{90} > 20\%$), кроме экибастузского угля при $R_{90} = 12 \div 15\%$	0,004
	сланцев северо-западных месторождений	0,006
Ошипованные, покрытые огнеупорной массой	Твердые топлива при слоевом сжигании	0,007
		0,003
		0,008
Закрытые шамотным кирпичом		0,010

Примечания: 1. При сжигании газа после пыли без очистки топки принимаются значения ϵ для пыли. При сжигании газа после мазута первоначально загрязнение соответствует мазутному, но с течением времени уменьшается.

2. При сжигании АШ с $\Gamma_{ун} < 12\%$ и тощего угля с $\Gamma_{ун} < 8\%$ принимается $\epsilon=0,006$.

3. При шлаковании топки коэффициент загрязнения может увеличиться до 0,010.

где $Q_{р}$ — располагаемое тепло топлива, вычисляемое по формуле (5-02), ккал/кг;

q_3, q_4 и q_6 — потери тепла от химической и механической неполноты горения, с физическим теплом шлаков и охлаждающей водой, %;

$Q_{в}$ — тепло, вносимое в топку воздухом, ккал/кг.

$$Q_{в} = (a_{т} - \Delta a_{т} - \Delta a_{пл}) I_{о''_{в}} + (\Delta a_{т} + \Delta a_{пл}) I_{о_{х.в}}, \quad \text{ккал/кг}. \quad (V-12)$$

Величины присосов $\Delta a_{т}$ и $\Delta a_{пл}$ определяются по п. 4-17, энтальпии теоретически необходимого количества воздуха при температуре на выходе из воздухоподогревателя $I_{о''_{в}}$ и холодного воздуха $I_{о_{х.в}}$ принимаются по табл. XIV и XV; $Q_{в.вн}$ — тепло, внесенное с поступающим в агрегат воздухом при подогреве его вне агрегата (см. п. 5-03), ккал/кг; $r I_{г.отб}$ — тепло рециркулирующих газов, учитываемое в случае возврата в топку части газов, отобранных из последующих газоходов котельного агрегата (см. п. 4-10), ккал/кг.

Адиабатическая температура θ_a определяется по полезному тепловыделению в топке $Q_{т}$, равному энтальпии продуктов сгорания I_a при избытке воздуха в конце топки $a_{т}$.

Средняя суммарная теплоемкость продуктов сгорания 1 кг топлива:

$$V_{ср} = \frac{Q_{т} - I''_{т}}{\theta_a - \theta''_{т}}, \quad \text{ккал/(кг} \cdot ^{\circ}C). \quad (V-13)$$

10. Тепловая нагрузка отдельных участков лучевоспринимающих поверхностей топки определяется из равенства

$$q_{уч} = \frac{B_{р} Q_{л}}{H_{л}} \eta_{в}, \quad \text{ккал/(м}^2 \cdot \text{ч)}, \quad (V-14)$$

где $\eta_{в}$ — коэффициент распределения тепловой нагрузки по высоте топки, принимается по номограмме 11;

$B_{р} Q_{л}/H_{л}$ — средняя тепловая нагрузка лучевоспринимающих поверхностей, ккал/(м² · ч).

ПРИЛОЖЕНИЕ VI

РАСЧЕТ ТЕПЛООБМЕНА В ДВУХКАМЕРНЫХ ТОПКАХ
ПО МЕТОДУ ЦКТИ

Определение теплообмена в двухкамерных топках сначала производится для всей топки в целом. В связи с недостаточностью опытных данных по теплообмену в камерах охлаждения тепловосприимчивости в ней определяется по разности общего тепловосприимчивости в топке и тепловосприимчивости камеры сгорания и шлакоулавливающего пучка.

По предлагаемой методике рекомендуется рассчитывать теплообмен в двухкамерных топках (в том числе и в вихревых), в топках с горизонтальными циклонами и с вертикальными предтопками.

Исходными для расчета теплообмена являются формулы (6-25) и (6-30), применяемые для расчета теплообмена в однокамерных и полуоткрытых топках. Значения коэффициента M в этих формулах впрямую до уточнения следует принимать: для двухкамерных топок (в том числе вихревых) и топок с горизонтальными циклонами $M=0,47$; для топок с вертикальными предтопками $M=0,53$.

Значения коэффициента загрязнения для открытых экранов и ширм принимаются по п. 6-20. Для ошипованных экранов, покрытых огнеупорной массой, коэффициент ζ рассчитывается по формуле (6-41), при этом коэффициент b принимается равным: для горизонтальных циклонов и камер догорания при работе на дробленке — 1,7; при работе на угольной пыли — 2,0.

Для вертикальных предтопок (высотой 8—11 м) коэффициент загрязнения рассчитывается по формуле

$$\zeta = 1,4 \left(0,53 - 0,25 \frac{t_{з.шл}}{1000} \right) (1,36 - 0,06 A^п),$$

где $A^п = \frac{A^p}{Q_{p.н}} 1000$ — приведенная зольность топлива;
 $t_{з.шл}$ — температура плавления шлака, °C.

При отсутствии данных о температуре плавления шлака она принимается на 50°C ниже температуры жидкоплавкого состояния золы топлива $t_з$.

Расчет теплообмена в ошипованных камерах сгорания (зоны плавления однокамерных, камеры сгорания полуоткрытых и двухкамерных топок, циклоны и камеры догорания циклонных топок, а также вертикальные предтопки) рекомендуется производить по формуле

$$\theta''_{к.с} = \frac{Bo^{0,6}}{0,40 + Bo^{0,6}}.$$

Расчет температуры газов на выходе из шлакоулавливающего пучка делается по формуле (6-72).

Доля тепловыделения за счет догорания в пучке равна:

$$\Delta\beta = (0,3 \div 0,4) \frac{q_{зпр} + q_{4пр}}{100},$$

где $q_{зпр}$ и $q_{4пр}$ принимаются по табл. XIX.

Для шлакоулавливающего пучка температура загрязненных труб

$$t_{з, тр} = t_з + 100^\circ\text{C},$$

где $t_з$ — температура начала жидкоплавкого состояния золы топлива.

Полезное тепловыделение во второй камере в общем виде определяется по формуле (6-53)

$$Q_T = Q_p^p \frac{100 - q_3 - q_4 - q_{6шл}}{100 - q_4} + Q_v - Q_{в.вн} - Z_{пр} \frac{B_{р.пр} (Q_{п} + Q_{к})^{пр}}{\varphi B_p} - Z_{пр} \frac{B_{р.пр} Q_{ш.п}}{\varphi B_p} \text{ ккал/кг.}$$

При температуре газов в конце камеры сгорания более 1700°C рекомендуется учитывать затрату тепла на диссоциацию трехатомных газов (см. п. 6-32).

ПРИЛОЖЕНИЕ VII

РАСЧЕТ ВОЗДУХОПОДОГРЕВАТЕЛЯ С ПРОМЕЖУТОЧНЫМ
ТЕПЛОНОСИТЕЛЕМ

Воздухоподогреватель с промежуточным теплоносителем менее подвержен коррозии и защищает от коррозии и загрязнений основной воздухоподогреватель.

На пылеугольных котлах такой подогреватель целесообразно располагать как «холодную» часть первой ступени воздухоподогревателя в области температур металла 80—160°C. При этом практически нетрудно обеспечить отсутствие интервала температур стенки с максимальной скоростью коррозии, что достигается применением в коррозионноопасном интервале температур труб, составленных из отрезков двух разных диаметров по газовой и воздушной сторонам.

Из условий предотвращения интенсивного загрязне-

ния и коррозии при сжигании сернистого мазута с коэффициентами избытка воздуха в конце топki $\alpha_T > 1,04$ минимальную температуру стенки не следует допускать ниже 125°C. При $\alpha_T < 1,03$ минимальная температура стенки может приниматься 80—85°C.

Трубы воздухоподогревателя можно устанавливать вертикально или наклонно, минимальный угол наклона 4° (рис. VII-1).

Для расчета воздухоподогревателя с промежуточным теплоносителем применяются балансовые уравнения (7-01), (7-02) и (7-05). Присос воздуха в газосток воздухоподогревателя принимается равным нулю.

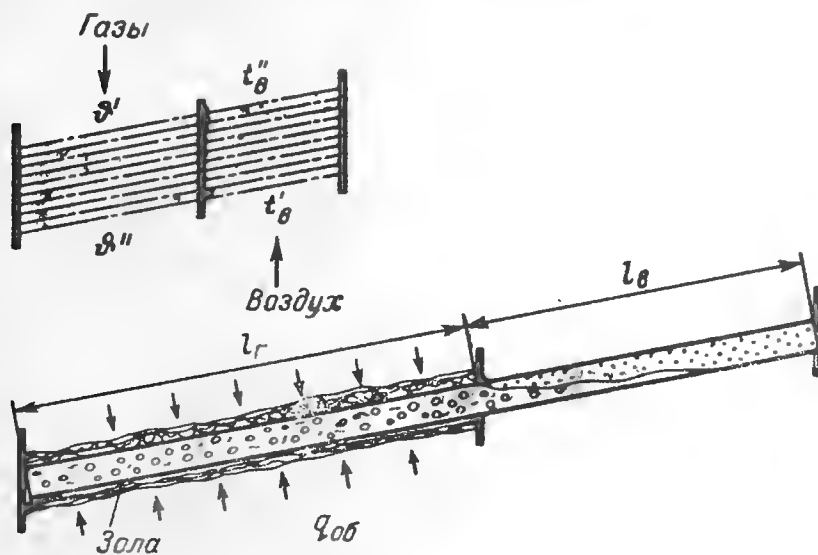


Рис. VII-1. Схема воздухоподогревателя.
 $t'_г$ и $t''г$ — температура газа на входе и выходе; $t'_в$ и $t''в$ — температура воздуха на входе и выходе; $l_г$ и $l_в$ — обогреваемая и охлаждаемая части трубы; $q_{об}$ — удельная тепловая нагрузка в обогреваемой части.

Поверхностью нагрева воздухоподогревателя считается полная его поверхность по газовой и воздушной сторонам.

Коэффициент теплопередачи рассчитывается по формуле

$$k = \frac{\xi_в}{\left(\frac{1}{\alpha_1} + \varepsilon\right) \left(1 + \frac{H_г}{H_в}\right) + \frac{1}{\alpha_2} \left(1 + \frac{H_г}{H_в}\right)}, \text{ ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}), \quad (\text{VII-1})$$

где α_1 и α_2 — коэффициенты теплоотдачи от газа к трубам и от труб к воздуху, $\text{ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C})$; определяются по § 7-Б, б;

$H_г$ и $H_в$ — поверхности нагрева с газовой и воздушной сторон, м^2 ;

$\xi_в$ — коэффициент, учитывающий ухудшение работы поверхности нагрева из-за наличия в трубах неконденсирующихся газов и уменьшения температурного напора. Величина $\xi_в$ для воздухоподогревателей, изготовленных по технологии ВТИ, приведена на рис. VII-2, а в зависимости от наружной температуры стенки по газовой стороне.

Коэффициент загрязнения ε воздухоподогревателя при сжигании твердых топлив в случае, когда температура стенки металла с газовой стороны $t_{ст.г}$ превышает температуру точки росы t_p на 10°C и более, принимается по § 7-Б, д. При более низком значении $t_{ст.г}$ величина ε определяется по рис. VII-2, б в зависимости от разности температур $t_{ст.г}$ и t_p . При сжигании мазута в случае, когда $t_{ст.г} - t_p \geq 10^\circ\text{C}$, принимают:

$$\varepsilon = 0,006 \div 0,007 \text{ (м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C})/\text{ккал}.$$

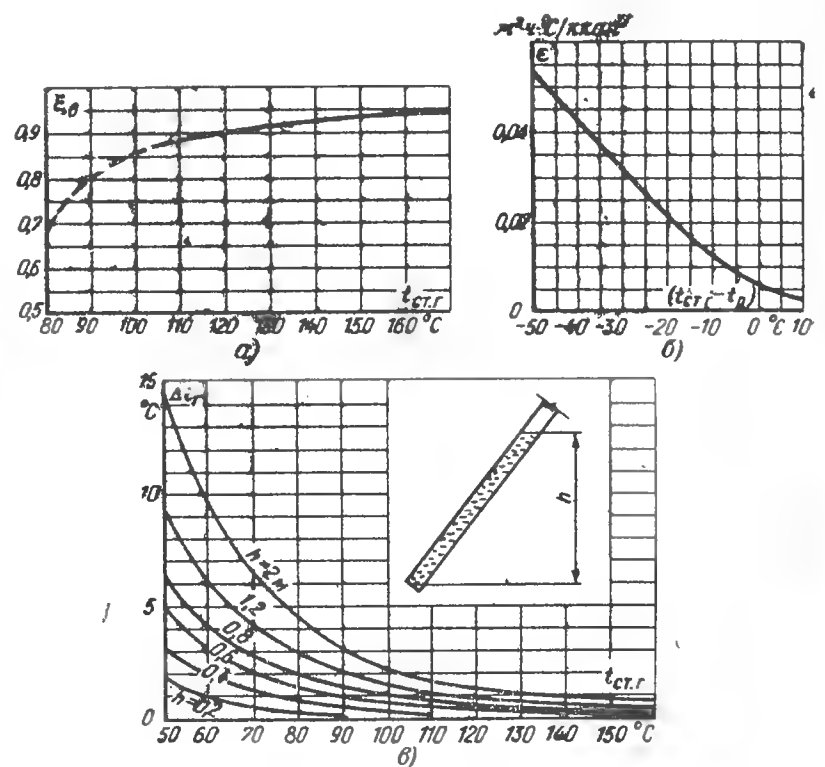


Рис. VII-2. Графики для расчета воздухоподогревателя с промежуточным теплоносителем.

а — коэффициент $\xi_в$; б — коэффициент загрязнения ε ; в — поправка на гидростатический напор $\Delta t_г$.

Температура стенки трубы, расположенной на газовой стороне, определяется по формуле

$$t_{ст.г} = \vartheta_{г.ср} - \frac{B_F Q}{H_г} \left(\frac{1}{\alpha_1} + \varepsilon \right), \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (\text{VII-2})$$

где $\vartheta_{г.ср}$ — средняя температура газов в воздухоподогревателе, $^\circ\text{C}$;

Q — тепловосприятие поверхности нагрева, определяемое из балансовых уравнений (7-02) и (7-05) по предварительно принятой конечной температуре одной из сред, $\text{ккал}/\text{кг}$.

Температурный напор Δt в воздухоподогревателе с промежуточным теплоносителем определяется как среднелогарифмическая разность температур по формуле (7-75), но из значений $\Delta t_б$ и $\Delta t_м$ вычитается поправка на гидростатический напор в трубе $\Delta t_г$, определяемая по рис. VII-2, в в зависимости от $t_{ст.г}$ и гидростатического уровня h .

Расчет воздухоподогревателя, часть поверхности которого выполнена из отрезков труб разных диаметров на газовой и воздушной сторонах, следует производить по частям, определяя α_1 , α_2 и температуру стенки для каждой части в отдельности. При этом для расчета температуры стенки удобно пользоваться следующей формулой

$$t_{ст.г} = \vartheta_г - \frac{\vartheta_г - t_в - \Delta t_г}{\frac{\alpha_1}{1 + \varepsilon \alpha_1} H_г + \alpha_2 H_в}, \text{ } ^\circ\text{C}. \quad (\text{VII-3})$$

ПРИМЕРНЫЕ ТЕПЛОВЫЕ РАСЧЕТЫ

В качестве основного примера приведен тепловой расчет котельного агрегата паропроизводительностью 950 т/ч с открытой однокамерной топкой, работающего на пыли донецкого угля марки Г. (отсев). С целью сокращения расчеты однотипных пучков опущены, а помещен расчет лишь одной ступени ширм и одного конвективного пучка.

Даны позонный расчет топочной камеры и вариант расчета топочной камеры с вертикальными ширмами, примыкающими к задней и фронтальной стенам.

Приведены расчеты температуры стенки НРЧ, ширмового и конвективного перегревателей.

Рассмотрен также пример расчета двухкамерной топки котельного агрегата паропроизводительностью 220 т/ч, предназначенного для сжигания пыли ангресского бурого угля.

А. ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ КОТЕЛЬНОГО АГРЕГАТА $D=950$ т/ч, РАБОТАЮЩЕГО НА ДОНЕЦКОМ УГЛЕ МАРКИ Г (ОТСЕВ)

1. ЗАДАНИЕ

Для расчета принят прямоточный котельный агрегат под наддувом с жидким шлакоудалением и газоплотными мембранными стенками (рис. VIII-1). Топка открытого типа, однокамерная, ее стены выполнены из плавниковых труб $\varnothing 32 \times 6$ с шагом 48 мм. Экраны нижней радиационной части ошипованы по высоте на 6 м. В выходном окне топки расположены две ступени ширм из труб $\varnothing 32 \times 6$ с шагом 692/752 мм. Перед ширмами I ступени установлены теплообменник и впрыскивающий пароохладитель, перед ширмами II ступени — впрыскивающий пароохладитель.

Газоплотными панелями экранированы стены поворотной камеры (включая район экономайзера), а также потолочное перекрытие котла. В промперегревателе два пакета: холодный (из труб $\varnothing 50 \times 4$) и горячий (из труб $\varnothing 42 \times 4$).

Водяной экономайзер выполнен из двухзаходных змеевиков $\varnothing 32 \times 6$.

Промперегреватель и водяной экономайзер по фронту разделены на восемь блоков. За конвективной шахтой установлены два регенеративных воздухоподогревателя диаметром 9 800 мм.

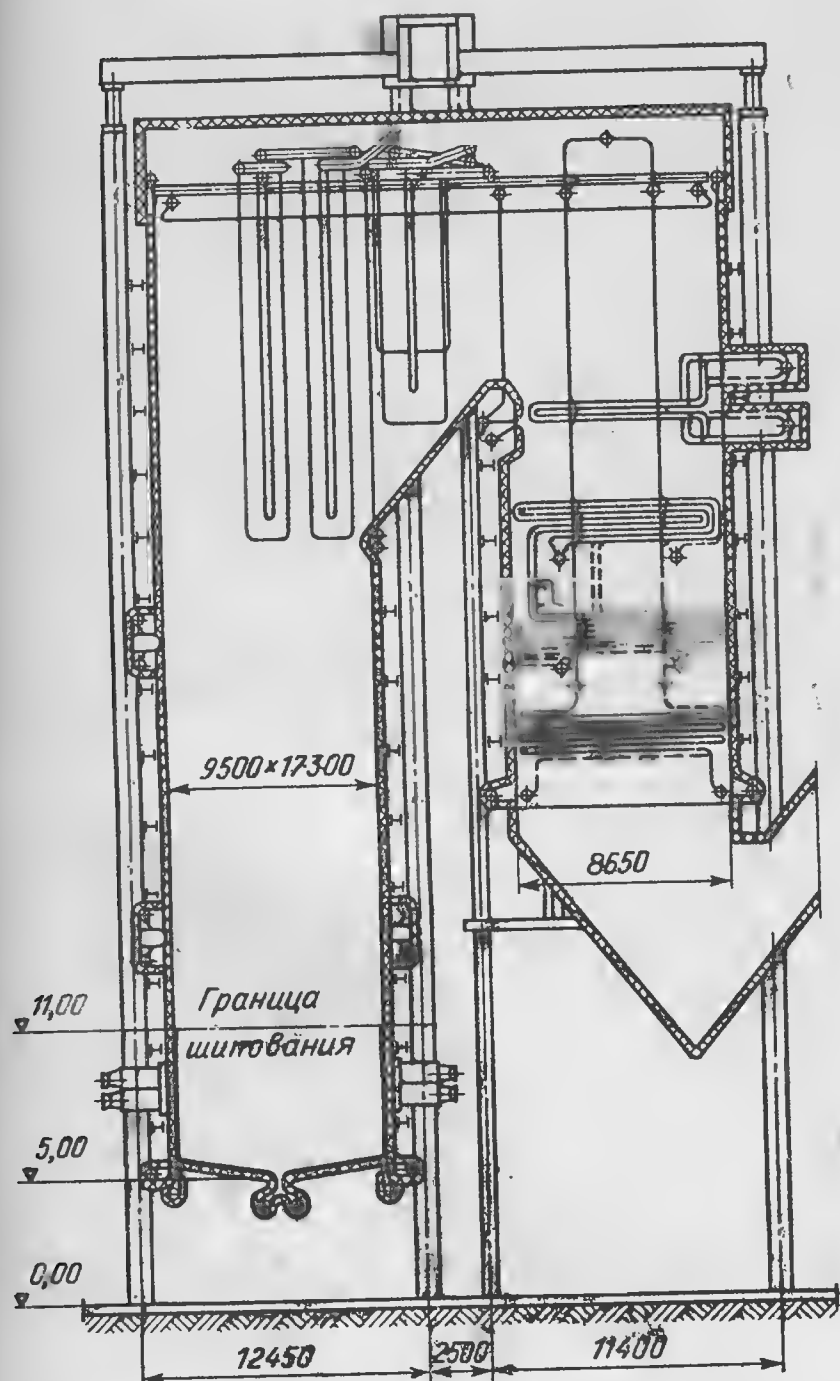


Рис. VIII-1. Котельный агрегат производительностью 950 т/ч.

Паропроизводительность котла D . . .	950 т/ч
Расход вторичного пара $D_{вт}$	800 т/ч
Температура питательной воды $t_{п.в}$. . .	260 °С
Давление питательной воды $p_{п.в}$. . .	300 кгс/см ²
Температура перегретого пара $t_{п.п}$. . .	565 °С
Давление перегретого пара $p_{п.п}$. . .	255 кгс/см ²
Температура вторичного пара на входе в котельный агрегат $t'_{вт}$	307 °С
Давление вторичного пара там же $p'_{вт}$	39 кгс/см ²
Температура вторичного пара на выходе из котельного агрегата $t''_{вт}$. . .	570 °С
Давление вторичного пара там же $p''_{вт}$	37 кгс/см ²
Давление в топке p	300 мм вод. ст.
Топливо — донецкий уголь марки Г	
Схема приготовления — замкнутая, мельницы среднеходные.	

2. КОНСТРУКТИВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОТЕЛЬНОГО АГРЕГАТА

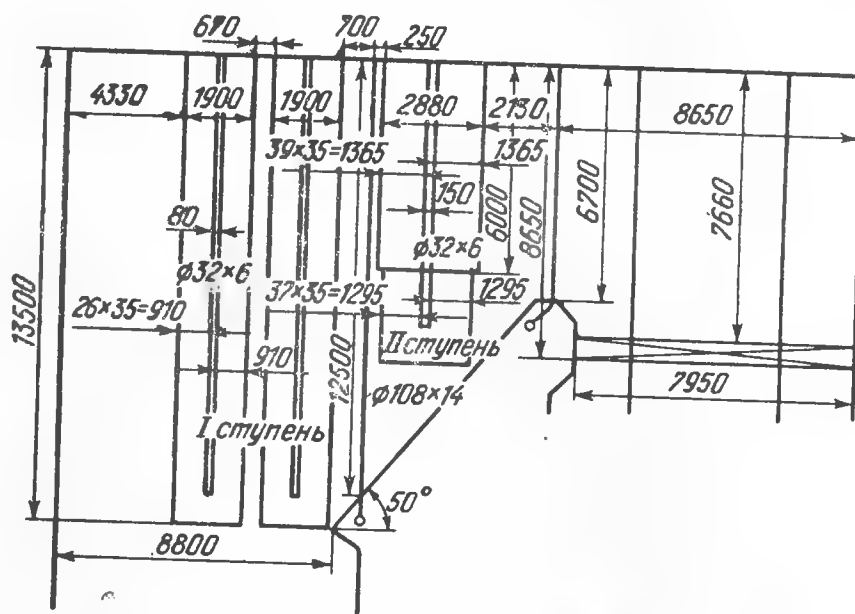
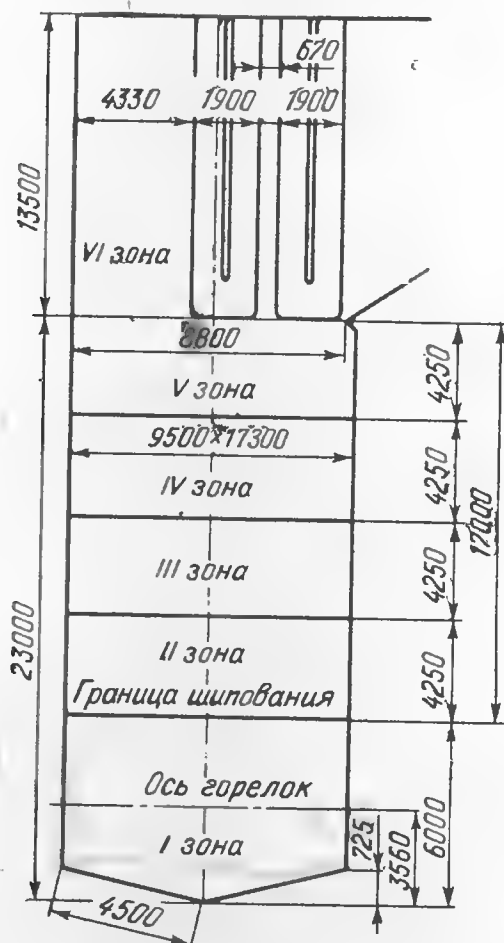


Рис. VIII-3. Схема ширмового газохода и поворотной камеры.

Рис. VIII-2. Схема топочной камеры.

Рассчитываемая величина	Обозначение	Размерность	Формула или обоснование	Расчет или данные чертежей
Топочная камера				
Диаметр и толщина экранных труб	$d \times \delta$	мм	По чертежу	32×6
Шаг труб	s_1	"	То же	48
Ошипованная часть				
Поверхности:				
фронтальной стены	F_{ϕ}	м ²	По рис. VIII-2	$5,275 \cdot 17,3 = 91,3$
задней стены	F_3	"	$F_3 = F_{\phi}$	91,3
боковой стены	F_6	"	По рис. VIII-2	$5,275 \cdot 9,5 + 0,725 \cdot 4,325 = 53,2$
пода	$F_{\text{под}}$	"	То же	$(4,5 + 4,5) 17,3 = 155$
Неэкранированная поверхность в области горелок	$F_{\text{гор}}$	"	" "	12
Суммарная экранированная поверхность ошипованной части	$F_{\text{ст}}^{\text{ош}}$	м ²	$F_{\phi} + F_3 + 2F_6 + F_{\text{под}} - F_{\text{гор}}$	$91,3 + 91,3 + 2 \cdot 53,2 + 155 - 12 = 432$
Открытая часть				
Поверхности:				
потолка	$F_{\text{пот}}$	"	По рис. VIII-2	$4,33 \cdot 17,3 = 74,9$
фронтальной стены	F_{ϕ}	"	То же	$30,5 \cdot 17,3 = 527$
задней стены	F_3	"	" "	$17 \cdot 17,3 = 294$
боковой стены	F_6	"	" "	$17 \cdot 9,5 + 13,5 \cdot 4,33 = 220$
выходного окна	$H_{\text{вых}}$	"	" "	$(4,47 + 13,5) 17,3 = 311$
Суммарная поверхность стен открытой части	$F_{\text{отк}}^{\text{ст}}$	"	$F_{\text{пот}} + F_{\phi} + F_3 + 2F_6 + H_{\text{вых}}$	$74,9 + 527 + 294 + 2 \cdot 220 + 311 = 1647$
Суммарная поверхность стен топочной камеры	$F_{\text{ст}}$	"	$F_{\text{ст}}^{\text{ош}} + F_{\text{отк}}^{\text{ст}} + F_{\text{гор}}$	$432 + 1647 + 12 = 2091$
Объем топочной камеры (до шири)	$V_{\text{т}}$	м ³	По рис. VIII-2	$17,3 (53,2 + 220) = 4,710$

Продолжение

Рассчитываемая величина	Обозначение	Размерность	Формула или обоснование	Расчет или данные чертежей
Эффективная толщина излучающего слоя	s	m	$3,6 \frac{V_{\tau}}{F_{ст}}$	$3,6 \frac{4710}{2091} = 8,14$

Первая ступень (по ходу пара) ширмового перегревателя

Диаметр и толщина труб	$d \times \delta$	mm	По чертежу	32×6
Количество параллельно включенных труб	$n_{тр}$	—	То же	$27 \times 24 = 648$
Количество ширм	$n_{ш}$	—	" "	24
Средний шаг между ширмами	s_1	mm	" "	$\frac{17300}{24+1} = 692$
Продольный шаг	s_2	"	" "	35
Относительный поперечный шаг	σ_1	—	s_1/d	$\frac{692}{32} = 21,6$
Относительный продольный шаг	σ_2	—	s_2/d	$\frac{35}{32} = 1,09$
Поверхность нагрева ширм	$H_{шI}$	m^2	$2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot A l n_{шx}$	$2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 0,942 \cdot 13,5 \cdot 24 \cdot 0,98 = 2393$
Дополнительная поверхность нагрева в области ширм	$H_{допI}$	"	По рис. VIII-3	$13,5 \cdot 4,47 \cdot 2 + 4,47 \cdot 17,3 = 198$
Поверхность входного окна	$H_{вх}$	"	То же	$(4,47 + 13,5) 17,3 = 311$
Лучевоспринимающая [поверхность ширм	$H_{л.шI}$	m^2	$H_{вх} \frac{H_{шI}}{H_{шI} + H_{допI}}$	$311 \frac{2390}{2390 + 198} = 287$
Дополнительная лучевоспринимающая поверхность	$H_{л.допI}$	"	$H_{вх} - H_{л.шI}$	$311 - 287 = 24$
Живое сечение для газов	F_r	"	$\frac{2 F' F''}{F' + F''}$	$\frac{(17,3 \cdot 17,97 - 24 \cdot 17,97 \cdot 0,032) \times}{(17,3 \cdot 17,97 - 24 \cdot 17,97 \cdot 0,032) + \rightarrow} \rightarrow \frac{\times (13,5 \cdot 17,3 - 24 \cdot 13,5 \cdot 0,032) 2}{+ (13,5 \cdot 17,3 - 24 \cdot 13,5 \cdot 0,032)} = 257$
Живое сечение для пара	$f_{п}$	"	$n_{тр} \frac{\pi d^2}{4}$	$0,785 \cdot 0,02^2 \cdot 648 = 0,204$
Эффективная толщина излучающего слоя	s	m	$\frac{1,8}{\frac{1}{A} + \frac{1}{B} + \frac{1}{C}}$	$\frac{1,8}{\frac{1}{13,5} + \frac{1}{4,47} + \frac{1}{0,692}} = 0,888$

Поворотная камера

Вертикальные перебросные стояки:				
диаметр и толщина	$d \times \delta$	mm	По чертежу	108×14
количество	n	—	То же	24
поверхность нагрева	$H_{в.ст}$	m^2	$\pi d l n$	$3,14 \cdot 0,108 \cdot 6,7 \cdot 24 = 54,5$
Подвесные экономайзерные трубы:				
диаметр и толщина	$d \times \delta$	mm	По чертежу	32×6
количество	n	—	То же	$119 \times 2 = 238$
поверхность нагрева	$H_{эк}$	m^2	$\pi d l n$	$3,14 \cdot 0,032 \cdot 7,66 \cdot 238 = 183$
Поверхности нагрева:				
входного окна	$H_{вх}$	"	По рис. VIII-3	$6,7 \cdot 17,3 = 116$
выходного окна	$H_{вых}$	"	То же	$7,95 \cdot 17,3 = 137,6$
боковых стен	H_6	"	" "	131
потолка, задней стены и ската	ΣH	"	" "	296
экранов поворотной камеры	$H_{экр}$	"	$H_6 + \Sigma H$	$131 + 296 = 427$

Продолжение

Рассчитываемая величина	Обозначение	Размерность	Формула или обоснование	Расчет или данные чертежей
Поверхность ограждающих стен и подвесных труб	H	m^2	$H_{\text{вкп}} + H_{\text{вк}} + H_{\text{вх}} + H_{\text{вых}} + H_{\text{в.ст}}$	$427 + 183 + 116 + 137,6 + 54,5 = 918,1$
Объем поворотной камеры	V	m^3	По рис. VIII-3	$17,3 \frac{131}{2} = 1135$
Эффективная толщина излучающего слоя	s	m	$3,6 V/H$	$3,6 \frac{1135}{918,1} = 4,45$
Живое сечение для среды в подвесных экономайзерных трубах	$f_{\text{вк}}$	m^2	$\frac{\pi d_{\text{вн}}^2}{4} n$	$0,785 \cdot 0,02^2 \cdot 238 = 0,075$
То же в вертикальных стояках	$f_{\text{в.ст}}$	"	$\frac{\pi d_{\text{вн}}^2}{4} n$	$0,785 \cdot 0,08^2 \cdot 24 = 0,12$
Живое сечение для газов в подвесных экономайзерных трубах	$F_{\text{г.вк}}$	"	$l_1 l_2 - n l_1 d$	$7,66 \cdot 17,3 - 119 \cdot 7,66 \cdot 0,032 = 103,3$
То же в вертикальных стояках	$F_{\text{г.в.ст}}$	"	$l_3 l_2 - n l_3 d$	$6,7 \cdot 17,3 - 24 \cdot 6,7 \cdot 0,108 = 98,6$

Выходная ступень вторичного перегревателя

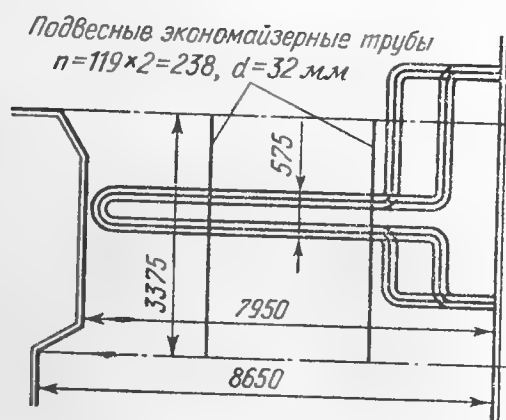


Рис. VIII-4. Вторичный перегреватель, выходная ступень.

Диаметр и толщина труб	$d \times \delta$	мм	По чертежу	42×4
Расположение	—	—	То же	Шахматное
Поперечный шаг	s_1	мм	" "	144
Продольный шаг	s_2	"	По рис. VIII-4	$\frac{575}{11} = 52,2$
Количество параллельно включенных труб	n	—	По чертежу	$238 \cdot 3 = 714$
Число рядов по ходу газов	z_2	—	То же	12
Длина трубы	l	м	По рис. VIII-4	50,95
Поверхность нагрева выходной ступени	H	m^2	$\pi d l n$	$3,14 \cdot 0,042 \cdot 50,95 \cdot 238 = 1595$
Живое сечение для газов	$F_{\text{г}}$	"	$AB - d l n$	$7,95 \cdot 17,3 - 0,042 \cdot 7,88 \cdot 119 = 98$
То же для пара	$f_{\text{п}}$	"	$\frac{\pi d_{\text{вн}}^2}{4} n$	$0,785 \cdot 0,034^2 \cdot 714 = 0,647$
Эффективная толщина излучающего слоя	s	м	$0,9d \left(\frac{4}{3,14} \frac{s_1 s_2}{d^2} - 1 \right)$	$0,9 \cdot 0,042 \left(\frac{4}{3,14} \cdot \frac{144 \cdot 52,2}{42^2} - 1 \right) = 0,168$

Продолжение

Рассчитываемая величина	Обозначение	Размерность	Формула или обоснование	Расчет или данные чертежей
Подвесные экономайзерные и перегревательные трубы:				
диаметр и толщина	$d \times \delta$	мм	По чертежу	32×6
количество	$n_{\text{вк}}$	—	То же	2 · 119
Поверхность нагрева	$H_{\text{вк}}$	м ²	$\pi d l n_{\text{вк}}$	$3,14 \cdot 0,032 \cdot 3,375 \cdot 119 \cdot 2 = 80,6$
Поверхность нагрева экранов в области выходного пакета	$H_{\text{вкр}}$	"	По рис. VIII-4	183,1

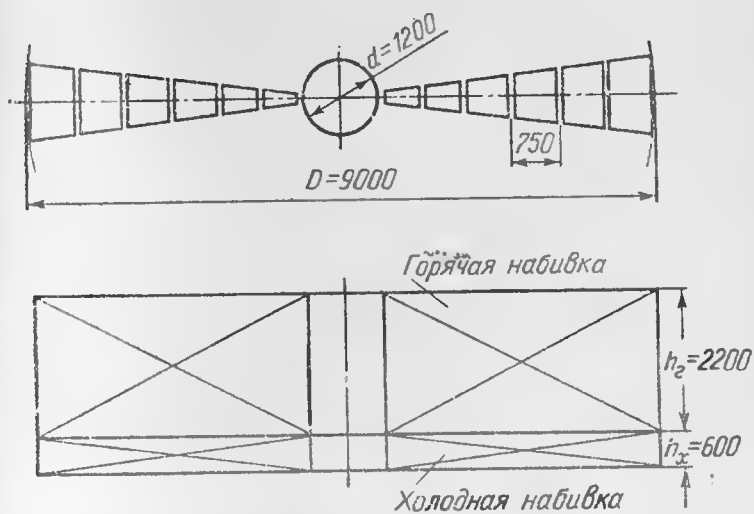


Рис. VIII-5. Регенеративный воздухоподогреватель.

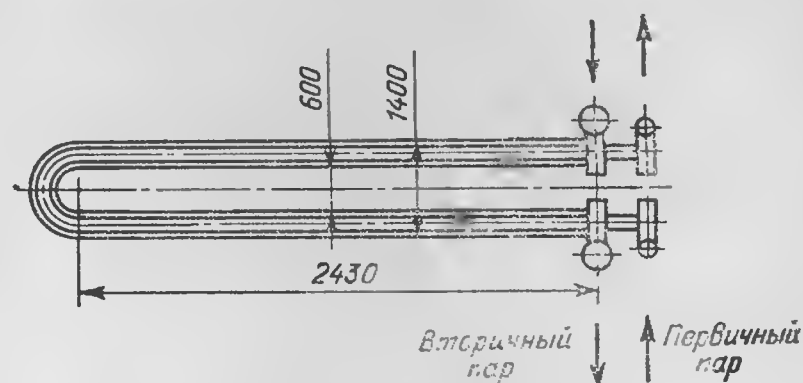


Рис. VIII-6. Паропаровой теплообменник.

Регенеративный воздухоподогреватель

Диаметр ротора ¹	D	мм	По рис. VIII-5	9 000
Диаметр ступицы	d	"	То же	1 200
Количество воздухоподогревателей на котел	n	—	По чертежу	2
Количество секторов	—	—	То же	18 (8 газовых, 8 воздушных и 2 разделительных)
Доли поверхности, омываемой газами и воздухом	x_1, x_2	—	$x_1 = x_2$	$\frac{8}{18} = 0,445$
Горячая часть				
Эквивалентный диаметр интенсифицированной набивки	$d_{\text{э}}$	мм	По п. 7-29	9,6
Живое сечение для газов и воздуха	F	м ²	$0,785 D_{\text{вн}}^2 x K_p K_n n$	$0,785 \cdot 9^2 \cdot 0,445 \cdot 0,93 \cdot 0,89 \cdot 2 = 46,8$
Высота набивки	h_r	м	По рис. VIII-5	2,2
Поверхность нагрева	H_r	м ²	$0,95 \cdot 0,785 D_{\text{вн}}^2 K_p C h n$	$0,95 \cdot 0,785 \cdot 9^2 \cdot 0,93 \cdot 365 \cdot 2,2 \cdot 2,0 = 90 200$

¹ РВП Ø 9 000 мм в настоящее время не изготавливается.

Паропаровой теплообменник

Диаметр и толщина труб первичного пара	$d \times \delta$	мм	По чертежу	32×5
То же вторичного пара	$d \times \delta$	"	То же	60×4

Продолжение

Рассчитываемая величина	Обозначение	Размерность	Формула или обоснование	Расчет или данные чертежей
Количество труб в одной секции	$n_{тр}$	—	По чертежу	5
Количество секций	z	—	То же	$13 \times 6 = 78$
Количество параллельно включенных труб	n	—	$n_{тр} z$	$5 \cdot 78 = 390$
Длина труб теплообменника	l	м	По рис. VIII-6	$2,43 \cdot 2 + 3,14 \cdot 0,5 = 6,43$
Поверхность нагрева теплообменника	H	м ²	$\pi d l n$	$3,14 \cdot 0,032 \cdot 6,43 \cdot 390 = 252$
Живое сечение для первичного пара	$f_{п.п}$	"	$\frac{\pi d_{вн}^2}{4} n$	$0,785 \cdot 0,022^2 \cdot 390 = 0,148$
Живое сечение для вторичного пара	$f_{вт}$	"	$0,785 (d_{вт.вн}^2 - d_{п.п}^2) n$	$0,785 (0,052^2 - 0,032^2) 390 = 0,52$
Эквивалентный диаметр	$d_э$	м	$\frac{4f_{вт}}{\pi}$	$\frac{4 \cdot 0,52}{3,14 (0,032 + 0,052) 390} = 0,02$

3. КОЭФФИЦИЕНТЫ ИЗБЫТКА ВОЗДУХА, ОБЪЕМЫ И ЭНТАЛЬПИИ ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ

(Объемы газов в м³/кг при 0 °С и 760 мм. рт. ст)

Рассчитываемая величина	Размерность	$V^0 = 5,545; V_{RO_2} = 1,0; V_{N_2}^0 = 4,39; V_{H_2O}^0 = 0,63; A^p = 22,3\%$		
		газоходы		
		топка и котел	воздухоподогреватель	уходящие газы
Коэффициент избытка воздуха средний α	—	1,2	1,3	1,4
$V_{H_2O} = V_{H_2O}^0 + 0,0161(\alpha - 1)V^0$	м ³ /кг	0,648	0,657	0,665
$V_r = V_{RO_2} + V_{N_2}^0 + V_{H_2O} + (\alpha - 1)V^0$	"	7,15	7,71	8,27
$r_{RO_2} = V_{RO_2}/V_r$	—	0,14	0,13	0,121
$r_{H_2O} = V_{H_2O}/V_r$	—	0,091	0,085	0,081
$r_H = r_{RO_2} + r_{H_2O}$	—	0,231	0,215	0,202
$\mu = 10^{-2} \frac{A^p a_{уи}}{V_{rГ}^0} (a_{уи} = 0,8; \rho_r^0 = 1,3 \text{ кг/м}^3)$	кг золы/кг газа	0,0192	0,0178	0,0166

Энтальпии продуктов сгорания (I-й таблица)

$\theta, ^\circ\text{C}$	I_{Γ}^0 ккал/кг	$I_{\text{В}}^0$ ккал/кг	$I = I_{\Gamma}^0 + (\alpha - 1) I_{\text{В}}^0$, ккал/кг						$\theta, ^\circ\text{C}$	I_{Γ}^0 ккал/кг	$I_{\text{В}}^0$ ккал/кг	$I = I_{\Gamma}^0 + (\alpha - 1) I_{\text{В}}^0$, ккал/кг					
			$\alpha = 1, 2$		$\alpha = 1, 3$		$\alpha = 1, 4$					$\alpha = 1, 2$		$\alpha = 1, 3$		$\alpha = 1, 4$	
			I	ΔI	I	ΔI	I	ΔI				I	ΔI	I	ΔI	I	ΔI
100	200	175	235		252		270	275	1 200	2 754	2 326	3 218					
200	405	353	475	240	510	258	545		1 300	3 011	2 536	3 517	299				
300	615	534	722	247	775	265			1 400	3 274	2 753	3 816	299				
400	833	718	976	254	1 047	272			1 500	3 533	2 969	4 118	302				
500	1 056	907	1 235	259	1 326	279			1 600	3 797	3 186	4 425	307				
600	1 283	1 100	1 503	268					1 700	4 063	3 402	4 733	308				
700	1 517	1 299	1 776	273					1 800	4 329	3 619	5 042	309				
800	1 758	1 499	2 055	279					1 900	4 599	3 841	5 355	313				
900	2 004	1 698	2 340	285					2 000	4 868	4 063	5 668	313				
1 000	2 253	1 904	2 628	288					2 100	5 140	4 285	5 984	316				
1 100	2 503	2 115	2 920	292					2 200	5 413	4 507	6 301	317				
				298													

4. ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ КОТЕЛЬНОГО АГРЕГАТА

Рассчитываемая величина	Обозначение	Размерность	Формула или обоснование	Расчет
Тепловой баланс				
Располагаемое тепло топлива	Q_p^p	ккал/кг	Q_p^p	5 000
Температура уходящих газов	ϑ_{yx}	°C	Принята предварительно	123
Энтальпия	I_{yx}	ккал/кг	По I-й таблице	333 ($\alpha=1,4$)
Температура холодного воздуха	$t_{x.в}$	°C	Принята по п. 5-03	30
Энтальпия	$I_{x.в}^0$	ккал/кг	По I-й таблице	52,5
Потери тепла:				
от химического не-дожога	q_3	%	По табл. XVIII	0
от механического не-дожога	q_4	"	" " "	0,5
с уходящими газами	q_2	"	$(I_{yx} - \alpha_{yx} I_{x.в}^0) (100 - q_4)$	$\frac{(333 - 1,4 \cdot 52,5) (100 - 0,5)}{5 000} = 5,18$
в окружающую среду	q_5	"	Q_p^p	0,2
Доля золы топлива в шлаке	$a_{шл}$	—	По п. 5-10 ($1 - a_{уш}$) по табл. XVIII	$1 - 0,8 = 0,2$
Температура жидкого шлака	$t_{шл}$	°C	$t_3 + 100$	$1 350 + 100 = 1 450$
Энтальпия золы	$(c\vartheta)_{зл}$	ккал/кг	По табл. XIII	399
Потеря с теплом шлаков	$q_6_{шл}$	%	$\frac{a_{шл} (c\vartheta)_{зл} A^p}{Q_p^p}$	$\frac{0,2 \cdot 399 \cdot 22,3}{5 000} = 0,36$
Сумма тепловых потерь	Σq	"	$q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6_{шл}$	$5,18 + 0,5 + 0,2 + 0,36 = 6,24$
Коэффициент полезного действия котельного агрегата	$\eta_{к.а}$	"	$100 - \Sigma q$	$100 - 6,24 = 93,8$
Давление перегретого пара за котельным агрегатом	$p_{п.п}$	кгс/см ²	Задано	255
Температура там же	$t_{п.п}$	°C		565
Энтальпия	$i_{п.п}$	ккал/кг	По табл. XXVII	808,4
Температура питательной воды	$t_{п.в}$	°C	Задана	260
Энтальпия	$i_{п.в}$	ккал/кг	По табл. XXVII	271 ($p=300$ кгс/см ²)
Расход вторичного пара	$D_{вт}$	т/ч	Задан	800
Давление на входе в котельный агрегат	$p'_{вт}$	кгс/см ²	То же	39
Температура там же	$t'_{вт}$	°C	" "	307
Энтальпия	$i'_{вт}$	ккал/кг	По табл. XXV	713,3
Давление вторичного пара на выходе из котельного агрегата	$p''_{вт}$	кгс/см ²	Задано	37
Температура там же	$t''_{вт}$	°C	То же	570
Энтальпия	$i''_{вт}$	ккал/кг	По табл. XXV	861,8
Тепло, полезно используемое в агрегате	$Q_{к.а}$	ккал/ч	$D (i_{п.п} - i_{п.в}) + D_{вт} (i''_{вт} - i'_{вт})$	$950 000 (808,4 - 271) + 800 000 \times (861,8 - 713,3) = 630 \cdot 10^6$
Полный расход топлива	B	кг/ч	$\frac{Q_{к.а} \cdot 100}{Q_p^p \eta_{к.а}}$	$\frac{630 \cdot 10^6 \cdot 100}{5 000 \cdot 93,8} = 134 300$
Расчетный расход	B_p	"	$B \left(1 - \frac{q_4}{100}\right)$	$134 300 \left(1 - \frac{0,5}{100}\right) = 133 800$
Коэффициент сохранения тепла	φ	—	$1 - \frac{q_5}{\eta_{к.а} + q_5}$	$1 - \frac{0,2}{93,8 + 0,2} = 0,998$

Продолжение

Рассчитываемая величина	Обозначение	Размерность	Формула или обоснование	Расчет
Топка				
Коэффициент избытка воздуха в топке	α_T	—	По п. 4-14 и по табл. XVIII	1,2
Присос воздуха в систему пылеприготовления	$\Delta\alpha_{пл}$	—	По табл. XVI	0,04
Температура горячего воздуха	$t_{г.в}$	°C	Принята предварительно	337
Энтальпия	$I_{г.в}^0$	ккал/кг	По I-й таблице	600
Тепло, вносимое воздухом в топку	Q_v	"	$(\alpha_T - \Delta\alpha_{пл}) I_{г.в}^0 + \Delta\alpha_{пл} I_{х.в}^0$	$(1,2 - 0,04) 600 + 0,04 \cdot 52,5 = 697$
Полезное тепловыделение в топке	Q_T	"	$Q_p \frac{100 - q_3 - q_4 - q_{6\text{пл}}}{100 - q_4} + Q_v$	$5\,000 \frac{100 - 0,5 - 0,36}{100 - 0,5} + 697 = 5\,679$
Теоретическая температура горения	ϑ_a	°C	По I-й таблице	2\,004
Относительное положение максимума температур по высоте топки	x_T	—	$x_T = x_r = \frac{h_T}{H_T}$	$\frac{3,65}{29,75} = 0,123$
Коэффициент температуры газов на выходе из топки	M	—	По п. 6-13	0,5
Энтальпия	I''_T	ккал/кг	Принята предварительно	1\,200
Средняя суммарная теплоспособность продуктов сгорания	$V_{сер}$	ккал/(кг × °C)	По I-й таблице	3\,218
Произведение Коэффициент ослабления лучей:	$pr_{пс}$	(м · кгс)/см ²	$\frac{Q_T - I''_T}{\vartheta_a - \vartheta''_T}$	$\frac{5\,679 - 3\,218}{2\,004 - 1\,200} = 3,07$
трехатомными газами	k_r	1/(м × кгс/см ²)	$pr_{пс}$	$1,03 \cdot 0,231 \cdot 8,14 = 1,93$
золотыми частицами	$k_{зл}$	То же	По номограмме 3	0,27
частицами кокса	$k_{ккс}$	" "	По номограмме 4	6,6
Безразмерные параметры	κ_1	—	По п. 6-08	1,0
Оптическая толщина	κ_2	—	То же	0,5
Степень черноты факела	$\alpha_{ф}$	—	$(k_r r_{п} + k_{зл} \kappa_{зл} + k_{ккс} \kappa_1 \kappa_2) pr_{пс}$	0,1
Коэффициент тепловой эффективности гладкотрубных экранов	$\psi_{экp}$	—	По номограмме 2	$(0,27 \cdot 0,231 + 6,6 \cdot 0,019 + 1,0 \cdot 0,5 \times 0,1) \cdot 1,03 \cdot 8,14 = 1,98$
Коэффициент	b	—	$\psi_{экp} = \zeta$ при $x=1$ по табл. 6-2	0,87
Коэффициент, учитывающий загрязнение ошипованных экранов, покрытых обмазкой	$\zeta_{ош}$	—	По п. 6-20	0,45
Коэффициент тепловой эффективности ошипованных экранов, покрытых обмазкой	$\psi_{ош}$	—	$b \left(0,53 - 0,25 \frac{t_3}{1\,000} \right)$	1,0
Коэффициент, учитывающий загрязнение ширм, расположенных в выходном окне топки	$\zeta_{ок}$	—	$\psi_{ош} = \zeta$ при $x=1$	$1 \left(0,53 - 0,25 \frac{1\,350}{1\,000} \right) = 0,193$
Коэффициент тепловой эффективности ширм, расположенных в выходном окне топки	$\psi_{ок}$	—	$\beta \zeta$ по табл. 6-2 и рис. 6-4	$1 \cdot 0,193 = 0,193$
Средний коэффициент тепловой эффективности	$\psi_{ср}$	—	$\psi_{ок} = \zeta_{ок}$ при $x=1$	$0,92 \cdot 0,45 = 0,414$
			$\frac{\sum \psi_i F_i}{\sum F_{ст}}$	$1 \cdot 0,414 = 0,414$
				$\frac{0,193 \cdot 432 + 0,45 \cdot 1\,336 + 0,414 \cdot 311 + 0,12}{2\,091} = 0,39$

Продолжение

Рассчитываемая величина	Обозначение	Размерность	Формула или обоснование	Расчет
Степень черноты топочной камеры	a_T	—	По номограмме 6	0,945
Температура газов на выходе из топки	ϑ''_T	°C	$\frac{T_a}{M \left(\frac{4,9 \cdot 10^{-8} \varphi_{\text{ср}} F_{\text{ср}} a_T T_a^3}{\varphi_{B_p} V_{\text{ср}}} \right)^{0,6} + 1} - 273$	$\frac{2277}{0,5 \left(\frac{4,9 \cdot 10^{-8} \cdot 0,39 \cdot 2091 \times \times 0,945 \cdot 2277^3}{0,998 \cdot 133800 \cdot 3,07} \right)^{0,6} + 1} - 273 = 1220$
Энтальпия	I''_T	ккал/кг	По 1-й таблице	3278
Количество тепла, воспринятого в топке	Q_T^T	"	$\varphi (Q_T - I''_T)$	$0,998 (5679 - 3278) = 2395$
Средняя тепловая нагрузка лучевоспринимающей поверхности нагрева	$q_{\text{л}}$	ккал/(м² × ч)	$\frac{B_p Q_{\text{л}}}{H_{\text{п}}}$	$\frac{133800 \cdot 2395}{2079} = 154 \cdot 10^3$
Теплонапряжение топочного объема (до ширм)	q_V	ккал/(м³ × ч)	$\frac{B Q_{\text{л}}^D}{V_T}$	$\frac{134300 \cdot 5000}{4710} = 143 \cdot 10^3$
Ширмы I ступени				
Температура газов на входе	ϑ'	°C	Из расчета топки	1220
Энтальпия	I'	ккал/кг	По 1-й таблице	3278
Лучистое тепло, воспринятое плоскостью входного сечения ширм по данным позонного расчета	$Q_{\text{л.вх}}$	ккал/кг	$\frac{q_{\text{л.ш}} V F_{\text{ок.ш}} V + q_{\text{л.ш}} V I F_{\text{ок.ш}} V I}{B_p}$	$\frac{135500 \cdot 77,4 + 85600 \cdot 234}{133800} = 228$
Поправочный коэффициент для учета излучения на пучок за ширмами	$\xi_{\text{п}}$	—	По п. 7-04	0,5
Температура газов на входе в ширмы II ступени	ϑ''	°C	Принята предварительно	1012
Средняя температура газов в ширмах I ступени	ϑ	"	$\frac{\vartheta' + \vartheta''}{2}$	$\frac{1220 + 1012}{2} = 1116$
Произведение	$p_{\text{п}}^S$	(м × кгс)/см²	$p r_{\text{п}}^S$	$1,03 \cdot 0,231 \cdot 0,888 = 0,211$
Коэффициент ослабления лучей: трехатомными газами	k_T	1/(м × кгс/см²)	По номограмме 3	0,98
частицами золы	$k_{\text{зл}}$	"	По номограмме 4	7,0
Оптическая толщина	k_{ps}	—	$(k_T r_{\text{п}} + k_{\text{зл}} \mu_{\text{зл}}) p_s$	$(0,98 \cdot 0,231 + 7,0 \cdot 0,019) \cdot 1,03 \times \times 0,888 = 0,329$
Степень черноты газов в ширмах	a	—	По номограмме 2	0,285
Угловой коэффициент с входного на выходное сечение ширм	$\varphi_{\text{ш}}$	—	$\sqrt{\left(\frac{l}{s_1} \right)^2 + 1} - \frac{l}{s_1}$	$\sqrt{\left(\frac{4,47}{0,692} \right)^2 + 1} - \frac{4,47}{0,692} = 0,14$
Тепло излучения из топки и ширм I ступени на фестон	$Q_{\text{л.вых}}$	ккал/кг	$\frac{Q_{\text{л.вх}} (1-a) \varphi_{\text{ш}}}{\beta} + + \frac{4,9 \cdot 10^{-8} a H_{\text{л.вых}} T^4 \xi_{\text{п}}}{B_p}$	$\frac{228 (1-0,285) 0,14}{0,92} + + \frac{4,9 \cdot 10^{-8} \cdot 0,285 \times \times 1389^4 (12,5 \cdot 17,3) 0,5}{133800} = = 24,8 + 43,8 = 68,6$

Продолжение

Рассчитываемая величина	Обозначение	Размерность	Формула или обоснование	Расчет
Тепло, получаемое излучением из топки ширмами I ступени (включая дополнительные поверхности)	$Q_{л.ш I + доп}$	ккал/кг	$Q_{л.вх} - Q_{л.вых}$	$228 - 68,6 = 159,4$
Тепловосприятие топочных экранов	$Q_{экp}$	"	$Q_{л}^T - Q_{л.вх}$	$2\,395 - 228 = 2\,167$
Прирост энтальпии среды в экранах	Δi	"	$\frac{Q_{экp} B_p}{D}$	$\frac{2\,167 \cdot 133\,800}{900\,000} = 324$
Количество лучистого тепла, воспринятого из топки ширмами	$Q_{л.ш}$	"	$(Q_{л.ш I} + Q_{л.доп I}) \times \frac{H_{л.ш I}}{H_{л.ш I} + H_{л.доп I}}$	$159,4 \frac{287}{311} = 147,0$
То же дополнительными поверхностями	$Q_{л.доп}$	"	$(Q_{л.ш I} + Q_{л.доп I}) \times \frac{H_{л.доп I}}{H_{л.ш I} + H_{л.доп I}}$	$159,4 \frac{24}{311} = 12,4$
Энтальпия газов на выходе из ширм при принятой температуре	I''	"	По I-й таблице	2 663
Тепловосприятие ширм I ступени и дополнительных поверхностей по балансу	Q_6	"	$\varphi (I' - I'')$	$0,998 (3\,278 - 2\,663) = 614$
В том числе:				
собственно ширм	$Q_{6.ш}$	"	Принята предварительно	558
дополнительных поверхностей	$Q_{6.доп}$	"	То же	56
Расход воды на I впрыск	$D_{впр I}$	т/ч	Принято	30
Расход воды на II впрыск	$D_{впр II}$	"	"	20
Температура пара перед I впрыском	$t'_{впр I}$	°C	Принята предварительно	459
Энтальпия пара там же	$i'_{впр I}$	ккал/кг	По табл. XXVI	704,9
Снижение энтальпии пара I впрыском	$\Delta i_{впр I}$	"	$\frac{D_{впр I} (i'_{впр I} - i_{п.в})}{D - D_{впр II}}$	$\frac{30}{930 - 20} (704,9 - 271) = 13,8$
Энтальпия пара после I впрыска	$i''_{впр I}$	"	$i'_{впр I} - \Delta i_{впр I}$	$704,9 - 13,8 = 691,1$
Температура пара там же	$t''_{впр I}$	°C	По табл. XXVI	449
Температура пара на входе в ширмы	t'	"	$t' = t''_{впр I}$	449
Энтальпия там же	i'	ккал/кг	$i' = i''_{впр I}$	$691,1 (p = 275 \text{ кгс/см}^2)$
Прирост энтальпии пара в ширмах	Δi	"	$\frac{(Q_{6.ш} + Q_{л.ш}) B_p}{D - D_{впр II}}$	$\frac{(558 + 147) 133\,800}{950\,000 - 20\,000} = 101,3$
Энтальпия пара на выходе	i''	"	$i' + \Delta i$	$691,1 + 101,3 = 792,4$
Температура там же	t''	°C	По табл. XXVI	546
Средняя температура пара	t	"	$\frac{t' + t''}{2}$	$\frac{449 + 546}{2} = 497$
Температурный напор	Δt	"	$\vartheta - t$	$1\,116 - 497 = 619$
Средняя скорость газов	w_r	м/сек	$\frac{B_p V_r (\vartheta + 273)}{3\,600 \cdot 273 F_r}$	$\frac{133\,800 \cdot 7,15 (1\,116 + 273)}{3\,600 \cdot 273 \cdot 257} = 5,3$
Коэффициент теплоотдачи конвекцией	α_k	ккал/(м ² × ч × °C)	По номограмме 12	$45 \cdot 1,0 \cdot 0,94 \cdot 0,6 = 25,5$
Коэффициент загрязнения	ϵ	(м ² × ч × °C)/ккал	По п. 7-49 и рис. 7-9	0,0086

Продолжение

Рассчитываемая величина	Обозначение	Размерность	Формула или обоснование	Расчет
Температура наружной поверхности загрязнений	t_3	°C	$t + \epsilon \frac{(Q_{б.м} + Q_{л.м}) B_p}{H}$	$497 + 0,0086 \frac{705 \cdot 133\,800}{2\,393} = 839$
Коэффициент теплоотдачи излучением	$\alpha_{л}$	$\frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \times \text{ч} \cdot \text{°C}}$	По номограмме 19	$356 \cdot 0,245 = 87,2$
Коэффициент использования	ξ	—	По п. 7-49 и рис. 7-9	0,85
Коэффициент теплоотдачи от газов к стенке	α_1	$\frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \times \text{ч} \cdot \text{°C}}$	$\left(\alpha_{к \frac{\pi d}{2s_2 x}} + \alpha_{л} \right) \xi$	$0,85 \left(25,5 \frac{3,14 \cdot 0,032}{2 \cdot 0,035 \cdot 0,98} + 87,2 \right) = 106,0$
Коэффициент теплопередачи	k	То же	$\frac{\alpha_1}{1 + \left(1 + \frac{Q_{л.м}}{Q_{б.м}} \right) \epsilon \alpha_1}$	$\frac{106}{1 + \left(1 + \frac{147}{558} \right) 0,0086 \cdot 106} = 49,4$
Тепловосприятие ширм по уравнению теплопередачи	$Q_{т.ш}$	ккал/кг	$\frac{kH\Delta t}{B_p}$	$\frac{49,4 \cdot 2\,393 \cdot 619}{133\,800} = 549$
Отношение тепловосприятий	$Q_{т.ш}/Q_{б.ш}$	%	$\frac{Q_{т.ш}}{Q_{б.ш}} 100$	$\frac{549}{558} 100 = 98,5$
Средняя температура пара в дополнительных поверхностях	t	°C	Принята предварительно	420
Тепловосприятие дополнительных поверхностей по уравнению теплопередачи	$Q_{т.доп}$	ккал/кг	$\frac{kH(\vartheta - t)}{B_p}$	$\frac{49,4 \cdot 198 (1\,116 - 420)}{133\,800} = 51$
Отношение тепловосприятий	$Q_{т.доп}/Q_{б.доп}$	%	$\frac{Q_{т.доп}}{Q_{б.доп}} 100$	$\frac{51}{56} 100 = 91$

Значения $Q_{т.ш}$ и $Q_{б.ш}$ разнятся меньше чем на 2%, а $Q_{т.доп}$ и $Q_{б.доп}$ — меньше чем на 10%, что допустимо. Расчет фестона аналогичен расчету конвективных пучков и поэтому не приводится.

Расчет ширм II ступени выполняется аналогично расчету ширм I ступени и также опускается.

Поворотная камера

Температура газов на входе	ϑ'	°C	Из расчета ширм II ступени	922
Энтальпия	I'	ккал/кг	То же	2 403,3
Температура газов на выходе	ϑ''	°C	Принята предварительно	853
Энтальпия	I''	ккал/кг	По I- ϑ -таблице	2 206
Тепловосприятие экранов, подвесных экономайзерных труб и вертикальных стояков в поворотной камере (по балансу)	Q_6	—	$\varphi (I' - I'')$	$0,998 (2\,403,3 - 2\,206) = 196,5$
Средняя температура газов	ϑ	°C	$\frac{\vartheta' + \vartheta''}{2}$	$\frac{922 + 853}{2} = 888$
Средняя скорость газов в сечении подвесных экономайзерных труб	$w_{т.эк}$	м/сек	$\frac{B_p V_{г,0,5}}{3\,600 F_{т.эк}} \left(1 + \frac{\vartheta}{273} \right)$	$\frac{133\,800 \cdot 7,15 \cdot 0,5}{3\,600 \cdot 103,3} \left(1 + \frac{888}{273} \right) = 5,46$

* Коэффициент 0,5 учитывает проход части газов помимо подвесных труб.

Продолжение

Рассчитываемая величина	Обозначение	Размерность	Формула или обоснование	Расчет
Коэффициент теплоотдачи конвекцией в подвесных экономайзерных трубах	$\alpha_{к.эк}$	$\text{ккал}/(\text{м}^2 \times \text{ч} \cdot ^\circ\text{C})$	По номограмме 12, $z_2 = 2$	$46 \cdot 0,91 \cdot 1,0 \cdot 0,95 = 39,8$
Скорость газов в сечении вертикальных стояков	$w_{г.в.ст}$	м/сек	$\frac{B_p V_{г.в.ст}}{3600 F_{г.в.ст}} \left(1 + \frac{\vartheta'}{273}\right)$	$\frac{133800 \cdot 7,15}{3600 \cdot 98,6} \left(1 + \frac{922}{273}\right) = 11,8$
Коэффициент теплоотдачи конвекцией к вертикальным стоякам	$\alpha_{к.в.ст}$	$\text{ккал}/(\text{м}^2 \times \text{ч} \cdot ^\circ\text{C})$	По номограмме 12	$51 \cdot 0,91 \cdot 1,0 \cdot 0,95 = 44,1$
Средняя температура пара в экранах и вертикальных стояках	t	$^\circ\text{C}$	Принято предварительно	425
Коэффициент загрязнения экранов поворотной камеры, подвесных труб и вертикальных стояков	ϵ	$(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \times ^\circ\text{C})/\text{ккал}$	По п. 7-36	0,005
Температура наружной поверхности загрязнений экранных труб	t_3	$^\circ\text{C}$	$t + \epsilon q_{экp}$	$425 + 0,005 \cdot 37400 = 612$
Произведение Коэффициент ослабления лучей трехатомными газами	$p_{пs} k_{г}$	$(\text{м} \cdot \text{кгс})/\text{см}^2$ $1/(\text{м} \times \text{кгс}/\text{см}^2)$	$p_{пs}$ По номограмме 3	$1,01 \cdot 0,231 \cdot 4,45 = 1,04$ 0,49
То же золовыми частицами	$k_{зп}$	То же	По номограмме 4	7,8
Оптическая толщина	k_{ps}	—	$(k_{гп} + k_{зп}) p_{с}$	$(0,49 \cdot 0,231 + 7,8 \cdot 0,019) 1,01 \times$ $\times 4,45 = 1,17$
Коэффициент теплоотдачи излучением к экранам поворотной камеры	$\alpha_{л.экp}$	$\text{ккал}/(\text{м}^2 \times \text{ч} \cdot ^\circ\text{C})$	По номограмме 19	$197 \cdot 0,69 = 136$
Тепловосприятие экранов по уравнению теплопередачи	$Q_{т.экp}$	$\text{ккал}/\text{кг}$	$\frac{\alpha_{л.экp} H_{экp} (\vartheta - t_3)}{B_p}$	$\frac{136 \cdot 427 \cdot (888 - 612)}{133800} = 120$
Тепловая нагрузка экранов	$q_{экp}$	$\text{ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$	$\frac{Q_{т.экp} B_p}{H}$	$\frac{120 \cdot 133800}{427} = 37400$
Средняя температура среды в подвесных экономайзерных трубах	t	$^\circ\text{C}$	Принята предварительно	320
Температура наружной поверхности подвесных экономайзерных труб	t_3	$^\circ\text{C}$	$t + \epsilon q_{эк}$	$320 + 0,005 \cdot 52000 = 580$
Коэффициент теплоотдачи излучением к подвесным экономайзерным трубам	$\alpha_{л}$	$\text{ккал}/(\text{м}^2 \times \text{ч} \cdot ^\circ\text{C})$	По номограмме 19	$188 \cdot 0,69 = 129,5$
Суммарный коэффициент теплоотдачи к подвесным экономайзерным трубам	$\alpha_{к} + \alpha_{л}$	То же	$\alpha_{к.эк} + \alpha_{л}$	$39,8 + 129,5 = 169,3$
Тепловосприятие подвесных экономайзерных труб	$Q_{т.эк}$	$\text{ккал}/\text{кг}$	$\frac{(\alpha_{к.эк} + \alpha_{л}) (\vartheta - t_3) H}{B_p}$	$\frac{169,3 (888 - 580) 183}{133800} = 71,4$
Тепловая нагрузка подвесных экономайзерных труб	$q_{эк}$	$\text{ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$	$\frac{Q_{т.эк} B_p}{H_{эк}}$	$\frac{71,4 \cdot 133800}{183} = 52000$
Температура наружных загрязнений вертикальных стояков	t_3	$^\circ\text{C}$	$t + \epsilon q_{в.ст}$	$425 + 0,005 \cdot 49000 = 670$
Коэффициент теплоотдачи излучением к вертикальным стоякам	$\alpha_{л}$	$\text{ккал}/(\text{м}^2 \times \text{ч} \cdot ^\circ\text{C})$	По номограмме 19	$220 \cdot 0,69 = 152$

Продолжение

Рассчитываемая величина	Обозначение	Размерность	Формула или обоснование	Расчет
Суммарный коэффициент теплоотдачи к вертикальным стоякам	$\alpha_k + \alpha_{\text{л}}$	$\text{ккал}/(\text{м}^2 \times \text{ч} \cdot ^\circ\text{C})$	$\alpha_{\text{к.в.ст}} + \alpha_{\text{л}}$	$44,1 + 152 = 196,1$
Тепловосприятие вертикальных стояков	$Q_{\text{т.в.ст}}$	$\text{ккал}/\text{кг}$	$\frac{(\alpha_{\text{к.в.ст}} + \alpha_{\text{л}}) (\vartheta - t_3) H_{\text{в.ст}}}{B_{\text{п}}}$	$\frac{196,1 \cdot (922 - 670) 54,5}{133\,800} = 20$
Тепловая нагрузка вертикальных стояков	$q_{\text{в.ст}}$	$\text{ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$	$\frac{Q_{\text{т.в.ст}} B_{\text{р}}}{H_{\text{в.ст}}}$	$\frac{20 \cdot 133\,800}{54,5} = 49\,000$
Суммарное тепловосприятие экранов, подвесных экономайзерных труб и вертикальных стояков в поворотной камере	$\Sigma Q_{\text{т}}$	$\text{ккал}/\text{кг}$	$Q_{\text{т.экp}} + Q_{\text{т.эк}} + Q_{\text{т.в.ст}}$	$120 + 71,4 + 20 = 211,4$
Отношение тепловосприятий	$\Sigma Q_{\text{т}}/Q_6$	%	$\frac{\Sigma Q_{\text{т}}}{Q_6} 100$	$\frac{211,4}{196,5} 100 = 107,5$

Величины Q_6 и $\Sigma Q_{\text{т}}$ поверхностей поворотной камеры отличаются меньше чем на 10%, что допустимо.

Вторичный перегреватель

Выходная ступень				
Температура газов на входе	ϑ'	$^\circ\text{C}$	Из расчета поворотной камеры	853
Энтальпия	I'	$\text{ккал}/\text{кг}$	То же	2 206
Температура газов на выходе	ϑ''	$^\circ\text{C}$	Принята предварительно	757
Энтальпия	I''	$\text{ккал}/\text{кг}$	По I-й таблице	1 935
Тепло, отданное газами в том числе:	Q_6	"	$\varphi (I' - I'')$	$0,998 (2\,206 - 1\,935) = 270$
тепловосприятие выходной ступени	$Q_{6.\text{п}}$	"	Принято предварительно	210
дополнительных поверхностей	$Q_{6.\text{доп}}$	"	То же	39
подвесных экономайзерных труб	$Q_{6.\text{эк}}$	"	" "	21
Приrost энтальпии в выходной ступени	Δi	"	$\frac{Q_{6.\text{п}} B_{\text{р}}}{D}$	$\frac{210 \cdot 133\,800}{800\,000} = 35,1$
Температура пара на выходе	t''	$^\circ\text{C}$	Задана	570
Энтальпия	i''	$\text{ккал}/\text{кг}$	По табл. XXV	861,8
Энтальпия пара на входе	i'	"	$i'' - \Delta i$	$861,8 - 35,1 = 826,7$
Температура	t'	$^\circ\text{C}$	По табл. XXV	506 ($p = 39 \text{ кгс}/\text{см}^2$)
Средняя температура газов	ϑ	"	$\frac{\vartheta' + \vartheta''}{2}$	$\frac{853 + 757}{2} = 805$
Средняя температура пара	t	"	$\frac{t' + t''}{2}$	$\frac{570 + 506}{2} = 538$
Температурный напор	Δt	"	$\frac{(\vartheta' - t'') - (\vartheta'' - t')}{2,3 \lg \frac{\vartheta' - t''}{\vartheta'' - t'}}$	$\frac{(853 - 506) - (757 - 570)}{2,3 \lg \frac{853 - 506}{757 - 570}} = 259$
Средняя скорость газов	$w_{\text{г}}$	$\text{м}/\text{сек}$	$\frac{B_{\text{р}} V_{\text{г}} (\vartheta + 273)}{3\,600 \cdot 273 F_{\text{г}}}$	$\frac{133\,800 \cdot 7,15 (805 + 273)}{3\,600 \cdot 273 \cdot 98} = 10,6$
Коэффициент теплоотдачи конвекцией	$\alpha_{\text{к}}$	$\text{ккал}/(\text{м}^2 \times \text{ч} \cdot ^\circ\text{C})$	По номограмме 13	$76,5 \cdot 1,01 \cdot 1,02 \cdot 0,95 = 74,4$
Средний удельный объем пара	v	$\text{м}^3/\text{кг}$	По табл. XXV	$0,09801 (p = 38 \text{ кгс}/\text{см}^2)$

Продолжение

Рассчитываемая величина	Обозначение	Размерность	Формула или обоснование	Расчет
Средняя скорость пара	$w_{\text{п}}$	м/сек	$\frac{Dv}{3600f_{\text{п}}}$	$\frac{800\,000 \cdot 0,09801}{3\,600 \cdot 0,647} = 33,6$
Коэффициент теплоотдачи от стенки к пару	α_2	ккал/(м ² × ч × °С)	По номограмме 15	$1\,350 \cdot 0,97 = 1\,310$
Коэффициент загрязнения	ϵ	(м ² × ч × °С)/ккал	$C_d C_{\text{гр}} \epsilon_0 + \Delta \epsilon$, по рис. 7-11 и табл. 7-2	$1,12 \cdot 1 \cdot 0,0012 + 0,003 = 0,00434$
Температура наружной поверхности загрязнений	t_2	°С	$t + \left(\frac{1}{\alpha_2} + \epsilon \right) \frac{B_p Q_{\text{б.п}}}{H}$	$538 + \left(0,00434 + \frac{1}{1\,310} \right) \times$ $\times \frac{210 \cdot 133\,800}{1\,595} = 624$
Произведение Коэффициент ослабления лучей:	$p_{\text{п}} s$	(м · кгс)/см ²	$p r_{\text{п}} s$	$1,01 \cdot 0,231 \cdot 0,168 = 0,0392$
трехатомными газами	$k_{\text{г}}$	1/(м × кгс/см ²)	По номограмме 3	2,8
золотыми частицами	$k_{\text{эл}}$	" "	По номограмме 4	8,2
Оптическая толщина	$k_{\text{пс}}$	" "	$(k_{\text{г}} r_{\text{п}} + k_{\text{эл}} \mu_{\text{эл}}) p s$	$(2,8 \cdot 0,231 + 8,2 \cdot 0,019) 1,01 \times$ $\times 0,168 = 0,137$
Коэффициент теплоотдачи излучением	$\alpha_{\text{п}}$	ккал/(м ² × ч × °С)	По номограмме 19	$168 \cdot 0,13 = 21,8$
То же с учетом объема, находящегося перед пучком	$\alpha'_{\text{п}}$	" "	$\alpha_{\text{п}} \left[1 + A \left(\frac{T_{\text{к}}}{1\,000} \right)^{0,25} \times \right.$ $\left. \times \left(\frac{l_{03}}{l_{\text{п}}} \right)^{0,07} \right]$	$21,8 \left[1 + 0,4 \left(\frac{1\,126}{1\,000} \right)^{0,25} \times \right.$ $\left. \times \left(\frac{7\,660}{575} \right)^{0,07} \right] = 33,2$
Коэффициент теплопередачи	k	" "	$\frac{\alpha_{\text{к}} + \alpha'_{\text{п}}}{1 + \left(\frac{1}{\alpha_2} + \epsilon \right) (\alpha_{\text{к}} + \alpha'_{\text{п}})}$	$\frac{74,4 + 33,2}{1 + \left(0,00434 + \frac{1}{1\,310} \right) 107,6} =$ $= 69,4$
Тепловосприятие выходной ступени (по уравнению теплопередачи)	$Q_{\text{т.п}}$	ккал/кг	$\frac{kH\Delta t}{B_p}$	$\frac{69,4 \cdot 1\,595 \cdot 259}{133\,800} = 214$
Отношение тепловосприятий	$Q_{\text{т.п}}/Q_{\text{б.п}}$	%	$\frac{Q_{\text{т.п}}}{Q_{\text{б.п}}} 100$	$\frac{214}{210} 100 = 101,9$
Средняя температура пара в экранах выходной ступени	t	°С	Принята предварительно	425
Тепловосприятие там же	$Q_{\text{т.доп}}$	ккал/кг	$\frac{kH(\vartheta - t)}{B_p}$	$\frac{69,4 \cdot 183,1 (805 - 425)}{133\,800} = 38,3$
Отношение тепловосприятий	$Q_{\text{т.доп}}/Q_{\text{б.доп}}$	%	$\frac{Q_{\text{т.доп}}}{Q_{\text{б.доп}}} 100$	$\frac{38,3}{39} 100 = 98,2$
Средняя температура среды в подвесных экономайзерных трубах	t	°С	Принята предварительно	320
Тепловосприятие подвесных экономайзерных труб	$Q_{\text{т.эк}}$	ккал/кг	$\frac{kH(\vartheta - t)}{B_p}$	$\frac{69,4 \cdot 80,6 (805 - 320)}{133\,800} = 20,2$
Отношение тепловосприятий	$Q_{\text{т.эк}}/Q_{\text{б.эк}}$	%	$\frac{Q_{\text{т.эк}}}{Q_{\text{б.эк}}} 100$	$\frac{20,2}{21} 100 = 96,2$

Значения $Q_{\text{т.п}}$ и $Q_{\text{б.п}}$ отличаются меньше чем на 2%, $Q_{\text{т.доп}}$ и $Q_{\text{б.доп}}$, а также $Q_{\text{т.эк}}$ и $Q_{\text{б.эк}}$ — меньше чем на 10%, что допустимо.

Расчет входной ступени выполняется аналогично.

Рассчитываемая величина	Обозначение	Размерность	Формула или обоснование	Расчет
Регенеративный воздухоподогреватель				
<i>Горячая часть</i>				
Температура воздуха на выходе	$t_{г.в}$	°C	Принята предварительно	341
Энтальпия воздуха там же	$I_{г.в}^0$	ккал/кг	По I-й таблице	609
Отношение расходов воздуха на выходе из горячей части к теоретическому	$\beta''_{г.в}$	—	Из расчета топки	$1,2 - 0,04 = 1,16$
Присос воздуха	$\Delta\alpha$	—	По табл. XVI	0,2
Температура воздуха на входе (промежуточная)	$t_{пр}$	°C	Принята предварительно	76
Энтальпия воздуха там же	$I_{пр}^0$	ккал/кг	По I-й таблице	133
Энтальпия газов на входе	I'	"	Из расчета экономайзера	966
Температура газов там же	ϑ'	°C	По I-й таблице	$396 (\alpha = 1,2)$
Тепловосприятие ступени (по балансу)	Q_6	ккал/кг	$\left(\beta''_{г.в} + \frac{\Delta\alpha}{2}\right) (I_{г.в}^0 - I_{пр}^0)$	$\left(1,16 + \frac{0,2}{2}\right) (609 - 133) = 600$
Энтальпия газов на выходе	I''	"	$I' - \frac{Q_6}{\varphi} + \frac{\Delta\alpha}{2} I_{г.в}^0$	$966 - \frac{600}{0,998} + \frac{0,2}{2} 609 = 425$
Температура газов	ϑ''	°C	По I-й таблице	$167 (\alpha = 1,3)$
Средняя температура газов	ϑ	"	$\frac{\vartheta' + \vartheta''}{2}$	$\frac{396 + 167}{2} = 282$
Средняя температура воздуха	t	"	$\frac{t_{г.в} + t_{пр}}{2}$	$\frac{341 + 76}{2} = 209$
Средний температурный напор	Δt	"	$\vartheta - t$	$282 - 209 = 73$
Средняя температура стенки	$t_{ст}$	"	$\frac{x_1 \vartheta + x_2 t}{x_1 + x_2}$	$\frac{282 + 209}{2} = 246 (x_1 = x_2)$
Средняя скорость газов	w_g	м/сек	$\frac{B_p V_g (\vartheta + 273)}{3600 \cdot 273 F_g}$	$\frac{133800 \cdot 7,71 (282 + 273)}{3600 \cdot 273 \cdot 46,8} = 12,4$
Средняя скорость воздуха	w_a	м/сек	$\frac{B_p V^0 \left(\beta''_{г.в} + \frac{\Delta\alpha}{2}\right) (t + 273)}{3600 \cdot 273 \cdot F_a}$	$\frac{133800 \cdot 5,55 \left(1,16 + \frac{0,2}{2}\right) \times (209 + 273)}{3600 \cdot 273 \cdot 46,8} = 9,8$
Коэффициент теплоотдачи от газа к стенке	α_K^g	ккал/(м ² × ч × °C)	По номограмме 18	$1,6 \cdot 1,03 \cdot 1 \cdot 45,7 = 75,5$
Коэффициент теплоотдачи от стенки к воздуху	α_K^a	"	По номограмме 18	$1,6 \cdot 0,96 \cdot 1 \cdot 37,8 = 58$
Коэффициент использования	ξ	—	По п. 7-59	0,85
Коэффициент теплопередачи	k	ккал/(м ² × ч × °C)	$\frac{\xi}{\frac{1}{x_1 \alpha_K^g} + \frac{1}{x_2 \alpha_K^a}}$	$\frac{0,85}{\frac{1}{0,445 \cdot 75,5} + \frac{1}{0,445 \cdot 58}} = 12,4$
Тепловосприятие горячей части (по уравнению теплопередачи)	Q_T	ккал/кг	$\frac{k H \Delta t}{B_p}$	$\frac{12,4 \cdot 90200 \cdot 73}{133800} = 610$

Продолжение

Рассчитываемая величина	Обозначение	Размерность	Формула или обоснование	Расчет
Минимальная температура стенки	$t_{ст}^{мин}$	°C	$\frac{x_1 \alpha_K^{\Gamma \theta''} + x_2 \alpha_K^B t_{пр}}{x_1 \alpha_K^{\Gamma} + x_2 \alpha_K^B}$	$\frac{75,5 \cdot 167 + 58 \cdot 76}{75,5 + 58} = 129 (x_1 = x_2)$
Отношение тепловосприимчивостей	Q_T / Q_6	%	$\frac{Q_T}{Q_6} 100$	$\frac{610}{600} 100 = 101,8$

Величины Q_T и Q_6 отличаются меньше чем на 2%.
Холодная часть воздухоподогревателя рассчитывается аналогично.

Уточнение теплового баланса

Потеря тепла с уходящими газами	q_2	%	$\frac{(I_{уx} - \alpha_{уx} I_{х.в}^0) (100 - q_4)}{Q_p^p}$	$\frac{(328 - 1,4 \cdot 52,5) (100 - 0,5)}{5\,000} =$ $= 5,06$
Сумма тепловых потерь	Σq	"	$q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6 \text{ мл}$	$5,06 + 0,5 + 0,2 + 0,36 = 6,12$
Коэффициент полезного действия котельного агрегата	$\eta_{к.а}$	"	$\frac{100 - \Sigma q}{100}$	$\frac{100 - 6,12}{100} = 93,88$
Расчетный расход топлива	B_p	кг/ч	$\frac{Q_{к.а} 100}{Q_p^p \eta_{к.а}} \left(1 - \frac{q_4}{100}\right)$	$\frac{630 \cdot 10^6 \cdot 100}{5\,000 \cdot 93,88} \left(1 - \frac{0,5}{100}\right) = 133\,500$
Тепло, вносимое воздухом в топку	Q_v	ккал/кг	$(\alpha_T - \Delta \alpha_{пл}) I_{г.в}^0 + \Delta \alpha_{пл} I_{х.в}^0$	$(1,2 - 0,04) 609 + 0,04 \cdot 52,5 = 708$
Полезное тепловыделение в топке	Q_T	"	$Q_p^p \frac{100 - q_3 - q_4 - q_{6\text{мл}}}{100 - q_4} + Q_v$	$5\,000 \frac{100 - 0,5 - 0,36}{100 - 0,5} + 708 =$ $= 5\,690$
Количество тепла, принятого в топке излучением	Q_T^T	"	$\varphi (Q_T - I''_T)$	$0,998 (5\,690 - 3\,278) = 2\,407$
Невязка теплового баланса	ΔQ	"	$Q_p^p \eta_{к.а} - (Q_T^T + Q_{III} + Q_{III} + Q_{п.п} + Q_{втII} + Q_{втI} + Q_{эк}) \frac{100 - q_4}{100}$	$5\,000 \cdot 0,9388 - (2\,407 + 614 + 270 + 185 + 270 + 619 + 348) \frac{100 - 0,5}{100} = 4$
Относительная невязка баланса	$\Delta Q / Q_p^p$	%	$\frac{\Delta Q}{Q_p^p} 100$	$\frac{4}{5\,000} 100 = 0,08$

Допустимая невязка баланса — 0,5%

Теплообменник

Температура вторичного пара на входе	$t'_{вт}$	°C	Задано	307
Энтальпия	$i'_{вт}$	ккал/кг	"	713,1
Температура вторичного пара после байпаса	$t_{РТ}^{см}$	°C	Из расчета входной ступени вторичного перегревателя	340
Энтальпия	$i_{вт}^{см}$	ккал/кг	То же	733,6 ($p = 39 \text{ кгс/см}^2$)
Величина байпаса вторичного пара	τ_6	%	Принято	60
Энтальпия вторичного пара на выходе	$i''_{вт}$	ккал/кг	$i'_{вт} + \frac{i_{вт}^{см} - i'_{вт}}{1 - \tau_6}$	$713,1 + \frac{733,6 - 713,1}{1 - 0,60} = 764,1$
Температура там же	$t''_{вт}$	°C	По табл. XXV	392 ($p = 39 \text{ кгс/см}^2$)
Тепловосприимчивость теплообменника по балансу	Q_6	ккал/кг	$D_{вт} (i_{вт}^{см} - i'_{вт})$	$800\,000 (733,6 - 713,1) = 16,2 \cdot 10^6$
Энтальпия первичного пара на входе	$i'_{п.п}$	"	$i'_{п.п} = i''_{доп}$	722,5
Температура там же	$t'_{п.п}$	°C	$t'_{п.п} = t''_{доп}$	476 ($p = 280 \text{ кгс/см}^2$)
Расход первичного пара в теплообменнике	D	кг/ч	$D - D_{впрI} - D_{впрII}$	$950\,000 - 30\,000 - 20\,000 = 900\,000$

Продолжение

Рассчитываемая величина	Обозначение	Размерность	Формула или обоснование	Расчет
Энтальпия первичного пара на выходе из теплообменника	$i''_{п.п}$	ккал/кг	$i''_{п.п} = \frac{Q_6}{D}$	$722,5 - \frac{16,2 \cdot 10^6}{9 \cdot 10^5} = 704,5$
Температура пара там же	$t''_{п.п}$	°C	По табл. XXVI	459 ($p = 275 \text{ кгс/см}^2$)
Средняя температура первичного пара	$t_{п.п}$	"	$\frac{t'_{п.п} + t''_{п.п}}{2}$	$\frac{476 + 459}{2} = 468$
Средняя температура вторичного пара	$t_{вт}$	°C	$\frac{t'_{вт} + t''_{вт}}{2}$	$\frac{307 + 392}{2} = 350$
Температурный напор	Δt	"	$\frac{(t''_{п.п} - t'_{вт}) - (t'_{п.п} - t''_{вт})}{2,3 \lg \frac{t''_{п.п} - t'_{вт}}{t'_{п.п} - t''_{вт}}}$	$\frac{(459 - 307) - (476 - 392)}{2,3 \lg \frac{459 - 307}{476 - 392}} = 111$
Средний удельный объем вторичного пара	$v_{вт}$	м³/кг	По табл. XXV	0,06976 ($p = 39 \text{ кгс/см}^2$)
Скорость первичного пара	$w_{п.п}$	м/сек	$\frac{Dv}{3600 f_{п.п}}$	$\frac{900000 \cdot 0,007}{3600 \cdot 0,148} = 14,8$
Коэффициент теплоотдачи от греющего пара к стенке	α_1	ккал/(м² × ч × °C)	По номограмме 15	$3650 \left(\frac{14,8}{4,0} \right)^{0,8} 1,06 = 11130$
Скорость вторичного пара	$w_{вт}$	м/сек	$\frac{(1 - \tau_6) D_{вт} v_{вт}}{3600 f_{вт}}$	$\frac{(1 - 0,60) 800000 \cdot 0,06976}{3600 \cdot 0,52} = 11,9$
Коэффициент теплоотдачи от стенки к пару	α_2	ккал/(м² × ч × °C)	$\alpha_2 = \alpha_2^{\text{ном}} C_d^{\text{ном}} C_d \cdot 1,1$ (1,1 — по п. 5 приложения III, $C_d = 0,93$ по рис. 7-5)	$620 \cdot 1,08 \cdot 0,93 \cdot 1,1 = 682$
Коэффициент теплопроводности стенки	λ_m	ккал/(м² × ч × °C)	По п. 11 приложения III, Г	40
Коэффициент теплопередачи	k	" "	$\frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} \cdot \frac{d_2}{d_1} + \frac{\delta_m}{\lambda_m} + \frac{1}{\alpha_2}}$	$\frac{1}{\frac{1}{11130} \cdot \frac{32}{22} + \frac{0,005}{40} + \frac{1}{682}} = 580$
Тепловосприятие теплообменника по уравнению теплопередачи	Q_T	ккал/ч	$kH\Delta t$	$580 \cdot 252 \cdot 111 = 16,3 \cdot 10^6$
Отношение тепловосприятий	Q_T/Q_6	%	$\frac{Q_T}{Q_6} 100$	$100 \frac{16,3 \cdot 10^6}{16,2 \cdot 10^6} = 100,5$

Величины Q_T и Q_6 различаются меньше чем на 2%.

Полученные в результате расчета температуры и энтальпии среды показаны на схеме рис. VIII-7.

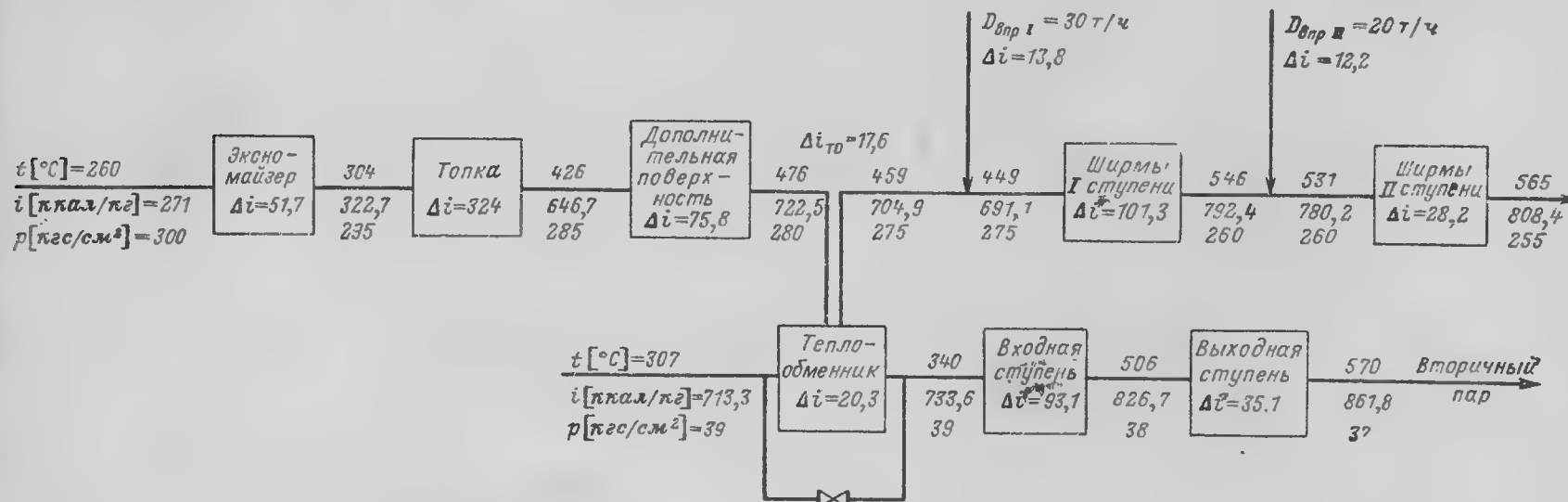


Рис. VIII-7. Температуры и энтальпии среды по тракту.

Б. ПОЗОННЫЙ РАСЧЕТ ТОПОЧНОЙ КАМЕРЫ

Рассчитываемая величина	Обозначение	Размерность	Формула или обоснование	Расчет или данные чертежей
-------------------------	-------------	-------------	-------------------------	----------------------------

КОНСТРУКТИВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Разбиваем топку на шесть зон (рис. VIII-2)

Зона I (ошипованная часть)				
Суммарная экранированная поверхность стен	$F_{ст}^{ош}$	m^2	По конструктивным характеристикам топки в целом	432
Сечение топочной камеры, ограничивающее зону сверху	$F_{сI}$	"	По рис. VIII-2	$9,5 \cdot 17,3 = 164,5$
Зона II				
Суммарная поверхность	$F_{стII}$	"	То же $F_{с.ср} = F_{сI}$	$9,5 \cdot 4,25 \cdot 2 + 17,3 \cdot 4,25 \cdot 2 = 227,7$ 164,5
Средняя площадь сечения топки	$F_{с.ср}$	"		
Зона III				
Суммарная поверхность стен	$F_{стIII}$	"	$F_{стIII} = F_{стII}$	227,7
Зона IV				
Суммарная поверхность стен	$F_{стIV}$	"	$F_{стIV} = F_{стIII}$	227,7
Зона V				
Суммарная поверхность стен	$F_{стV}$	"	$F_{стV} = F_{стIV}$	227,7
Поверхность выходного окна в ширмовый регреватель	$F_{ок.ш}$	"	$F_{ок.ш} = F_{ш}$	$4,47 \cdot 17,3 = 77,4$
Средняя площадь сечения топки в зоне	$F_{с.ср}$	"	$\frac{F_{с1} + F_{с2}}{2}$	$\frac{164,5 + 17,3 \cdot 4,33}{2} = 120$
Зона VI				
Суммарная поверхность стен	$F_{стVI}$	"	По рис. VIII-2	$4,33 \cdot 13,5 \cdot 2 + 17,3 \cdot 13,5 +$ $+ 4,33 \cdot 17,3 = 425,5$ $13,5 \cdot 17,3 = 234$
Поверхность выходного окна в ширмовый регреватель	$F_{ок.ш}$	"	То же	

I зона (ошипованная часть)

Относительная высота зоны	h_1/H_T	—	По рис. VIII-2	$\frac{6}{29,75} = 0,202$
Степень выгорания топлива на выходе из зоны (на поданное топливо)	$\beta_I^{сг}$	—	По табл. XXII	0,96
Степень выгорания топлива на выходе из зоны (на сгоревшее топливо, при q_4 на выходе из топки)	$\beta_{Ip}^{сг}$	—	$\frac{\beta_I^{сг}}{1 - \frac{q_4}{100}}$	$\frac{0,96}{1 - \frac{0,5}{100}} = 0,965$
Тепло, вносимое в топку воздухом	Q_v	ккал/кг	Из расчета топки в целом	697

Продолжение

Рассчитываемая величина	Обозначение	Размерность	Формула или обоснование	Расчет
Потеря с теплом шлака	$Q_{\text{шл}}$	ккал/кг	$\frac{q_{\text{шл}} Q_p^p}{100}$	$\frac{0,36 \cdot 5000}{100} = 18$
Температура газов на выходе из зоны	ϑ''	°C	Принята предварительно	1729
Энтальпия	I''	ккал/кг	По I-й таблице	4823
Теплоемкость продуктов сгорания	V_c''	ккал/(кг·°C)	I''/ϑ''	$\frac{4823}{1729} = 2,79$
Произведение Коэффициент ослабления лучей:	$P_{\Pi S}$	(м·кгс)/см²	$pr_{\Pi S}$	$1,03 \cdot 0,231 \cdot 8,14 = 1,94$
трехатомными газами	k_r	1/(м·кгс/см²)	По номограмме 3	0,14
золотыми частицами	$k_{\text{зл}}$	"	По номограмме 4	5,4
частицами кокса	$k_{\text{кокс}}$	"	По п. 6-08	1,0
Безразмерные параметры	x_1	—	То же	0,5
	x_2	—	" "	0,4
Концентрация золы	$\mu_{\text{зл}}$	—	$\frac{A_p (1 + a_{\text{уш}})}{100 G_r \cdot 2}$	$\frac{22,3(1+0,8)}{100 \cdot 9,44 \cdot 2} = 0,0212$
Оптическая толщина	kps	—	$(k_r r_{\Pi} + k_{\text{зл}} \mu_{\text{зл}} + k_{\text{кокс}} x_1 x_2) ps$	$(10,14 \cdot 0,231 + 5,4 \cdot 0,0212 + 1 \cdot 0,5 \cdot 0,4) 1,03 \cdot 8,14 = 2,91$
Степень черноты факела	a_{Φ}	—	По номограмме 2	0,942
Средний коэффициент тепловой эффективности экранов зоны	$\psi_{\text{ср}}$	—	Из расчета топki $\psi_{\text{ср}} = \psi_{\text{ом}}$	0,193
Коэффициент, характеризующий отдачу тепла в вышерасположенную зону	ψ'	—	По п. 6-38	0,2
Произведение коэффициента тепловой эффективности на суммарную поверхность, ограждающую зону	ψF	—	$\psi_{\text{ср}} F_{\text{ст}}^{\text{ом}} + \psi' F_{\text{сг}}$	$0,193 \cdot 432 + 0,2 \cdot 164,5 = 116,4$
Степень черноты топki в зоне	a_r	—	$\frac{a_{\Phi}}{a_{\Phi} + (1 - a_{\Phi}) \psi_{\text{ср}}}$	$\frac{0,942}{0,942 + (1 - 0,942) 0,193} = 0,988$
Температура газов на выходе из зоны	ϑ''	°C	$\frac{\beta_{\text{гп}} Q_p^p + Q_{\text{в}} - Q_{\text{шл}}}{V_c''}$	$\frac{0,965 \cdot 5000 + 697 - 18}{2,79} =$
Средняя тепловая нагрузка радиационных поверхностей в зоне	$q_{\text{л1}}$	ккал/(м²·ч)	$\frac{\sigma_0 a_r T''^4}{B_p V_c''} \psi F$ $4,9 \cdot 10^{-8} \psi a_r T''^4$	$\frac{4,9 \cdot 10^{-8} \cdot 0,988 \cdot 2002^4}{2,79 \cdot 133800} 116,4 = 1729$ $4,9 \cdot 10^{-8} \cdot 0,193 \cdot 0,988 \cdot 2002^4 = 149000$
Степень черноты топki последней зоны				
Температура газов на выходе из последней зоны	ϑ''	°C	Принята предварительно	1231
Произведение Коэффициент ослабления лучей:	$P_{\Pi S}$	(м·кгс)/см²	$pr_{\Pi S}$	$1,03 \cdot 0,231 \cdot 8,14 = 1,95$
трехатомными газами	k_r	1/(м·кгс/см²)	По номограмме 3	0,27
золотыми частицами	$k_{\text{зл}}$	"	По номограмме 4	6,6
Оптическая толщина	kps	—	$(k_r r_{\Pi} + k_{\text{зл}} \mu_{\text{зл}}) ps$	$(0,27 \cdot 0,231 + 6,6 \cdot 0,019) \cdot 1,03 \times$
Эффективная степень черноты факела в зоне	a_{Φ}	—	По номограмме 2	$\times 8,14 = 1,57$
Коэффициент тепловой эффективности стен зоны (принимается на 10% меньше среднего для открытых экранов)	ψ	—	При $x = 1$ по табл. 6-2	0,791
				$0,9 \cdot 0,45 = 0,405$

Продолжение

Рассчитываемая величина	Обозначение	Размерность	Формула или обоснование	Расчет
Коэффициент тепловой эффективности выходного окна ширм	ψ_{Σ}	—	ψ_{β}	$0,405 \cdot 0,92 = 0,373$
Средний коэффициент тепловой эффективности	$\psi_{\text{ср}}$	—	$\frac{\Sigma \psi_i F_{\text{ст}i}}{\Sigma F_{\text{ст}}}$	$\frac{0,405 \cdot 425,5 + 0,373 \cdot 223,1}{658,6} = 0,388$
Степень черноты топки в зоне	a_z	—	По номограмме 6	0,91

Примечание. a_z для промежуточных зон определяется линейной интерполяцией между ее значениями для первой и последней зон.

II зона

Относительная высота зоны	h_{II}/h_z	—	По рис. VIII-2	$\frac{10,25}{29,75} = 0,345$
Степень выгорания топлива на выходе из зоны (на поданное топливо)	$\beta_{II}^{\text{сг}}$	—	По табл. XXII	0,97
То же на сгоревшее топливо	$\beta_{IIp}^{\text{сг}}$	—	$\frac{\beta_{II}^{\text{сг}}}{1 - \frac{q_4}{100}}$	$\frac{0,97}{1 - \frac{0,5}{100}} = 0,975$
Доля сгоревшего топлива в зоне	$\Delta \beta_{II}^{\text{сг}}$	—	$\beta_{IIp}^{\text{сг}} - \beta_{Ip}^{\text{сг}}$	$0,975 - 0,965 = 0,01$
Температура газов на входе в зону	ϑ'	°C	Из расчета I зоны	1 729
Энтальпия газов	I'	ккал/кг	То же	4 823
Температура газов на выходе из зоны	ϑ''	°C	Принята предварительно	1 590
Энтальпия газов	I''	ккал/кг	По I- ϑ -таблице	4 394
Теплоемкость продуктов сгорания	Vc''	ккал/(кг·°C)	$\frac{I''}{\vartheta''}$	$\frac{4 394}{1 590} = 2,76$
Отношение теплоемкостей	$\frac{c'}{c''}$	—	—	$\frac{2,79}{2,76} = 1,01$
Средняя температура газов в зоне	ϑ	°C	$\frac{\vartheta' + \vartheta''}{2}$	$\frac{1 729 + 1 590}{2} = 1 660$
Коэффициент тепловой эффективности стен зоны (принимается на 10% выше среднего для открытых экранов)	ψ	—	При $x=1$ по табл. 6-2	$1,1 \cdot 0,45 = 0,495$
Степень черноты топки в зоне	a_z	—	По линейной интерполяции	0,97
Коэффициент переизлучения в данную зону	$\psi'' - \psi'$	—	По п. 6-39	-0,1
Температура газов на выходе из II зоны	ϑ''	°C	$\frac{\Delta \beta Q_{H \text{ макс}}^p}{Vc''} + \frac{c'}{c''} \vartheta' -$ $- \left[1 + \left(\frac{T''}{T'} \right)^4 \right] \times$ $\times \frac{4,9 \cdot 10^{-8} a_z T'^4}{2 B_p V c''} \times$ $\times [F_{\text{с.ср}} (\psi'' - \psi') +$ $+ \psi_{\text{ср}} F_{\text{ст}}]$ $4,9 \cdot 10^{-8} \psi_{\text{ср}} a_z T^4$	$\frac{0,01 \cdot 5 000}{2,76} + 1,01 \cdot 1 729 -$ $- \left[1 + \left(\frac{1 863}{2 002} \right)^4 \right] \times$ $\times \frac{4,9 \cdot 10^{-8} \cdot 0,97 \cdot 2 002^4}{2 \cdot 133 800 \cdot 2,76} \times$ $\times [164,5 (-0,1) + 0,495 \cdot 227,7] = 1 590$
Средняя тепловая нагрузка радиационных поверхностей в зоне	$q_{\text{ЛII}}$	ккал/(м²·ч)		$4,9 \cdot 10^{-8} \cdot 0,495 \cdot 0,97 \cdot 1 933^4 = 328 000$

Продолжение

Рассчитываемая величина	Обозначения	Размерность	Формула или обоснование	Расчет
III зона				
Относительная высота зоны	h_{III}/H_z	—	По рис. VIII-2	$\frac{14,5}{29,75} = 0,488$
Степень выгорания топлива на выходе из зоны (на поданное топливо)	$\beta_{III}^{сг}$	—	По табл. XXII	0,99
То же на сгоревшее топливо	$\beta_{IIIp}^{сг}$	—	$\frac{\beta_{III}^{сг}}{1 - \frac{q_4}{100}}$	$\frac{0,99}{1 - \frac{0,5}{100}} = 0,995$
Доля сгоревшего топлива в зоне	$\Delta\beta$	—	$\beta_{IIIp}^{сг} - \beta_{III}^{сг}$	$0,995 - 0,975 = 0,020$
Температура газов на входе в зону	ϑ'	°C	Из расчета II зоны	1 590
Энтальпия газов	I'	ккал/кг	Из расчета II зоны	4 394
Температура газов на выходе из зоны	ϑ''	°C	Принята предварительно	1 495
Энтальпия газов	I''	ккал/кг	По I-й таблице	4 103
Теплоемкость продуктов сгорания	Vc''	ккал/(кг·°C)	I''/ϑ''	$\frac{4 103}{1 495} = 2,75$
Отношение теплоемкостей	c'/c''	—	Vc'/Vc''	$\frac{2,76}{2,75} = 1,004$
Средняя температура газов в зоне	ϑ	°C	$\frac{\vartheta' + \vartheta''}{2}$	$\frac{1 590 + 1 495}{2} = 1 543$
Степень черноты топки в зоне	a_z	—	По линейной интерполяции	0,96
Коэффициент тепловой эффективности (принимается на 10% выше среднего для открытых экранов)	ψ	—	При $x = 1$ по табл. 6-2	$1,1 \cdot 0,45 = 0,495$
Коэффициент переизлучения в данную зону	$\psi'' - \psi'$	—	По п. 6-39	—0,05
Температура газов на выходе из III зоны	ϑ''	°C	$\frac{\Delta\beta Q_n^p}{Vc''} + \frac{c'}{c''} \vartheta' - \left[1 + \left(\frac{T''}{T'} \right)^4 \right] \times \frac{\sigma_0 a_z T'^4}{2B_p Vc''} \times [F_{с.ср}(\psi'' - \psi') + \psi_{ср} F_{сг}]$	$\frac{0,020 \cdot 5 000}{2,75} + 1,004 \cdot 1 590 - \left[1 + \left(\frac{1 768}{1 863} \right)^4 \right] \times \frac{4,9 \cdot 10^{-8} \cdot 0,96 \cdot 1 863^4}{2 \cdot 133 800 \cdot 2,75} \times [164,5(-0,05) + 0,495 \cdot 227,7] = 1 495$
Средняя тепловая нагрузка радиационных поверхностей в зоне	$q_{лIII}$	ккал/(м²·ч)	$4,9 \cdot 10^{-8} \psi_{ср} a_z T_{ср}^4$	$4,9 \cdot 10^{-8} \cdot 0,495 \cdot 0,96 \cdot 1 816^4 = 253 000$
IV зона				
Относительная высота зоны	h_{IV}/H_z	—	По рис. VIII-2	$\frac{18,75}{29,75} = 0,632$
Степень выгорания топлива на выходе из зоны (на поданное топливо)	$\beta_{IV}^{сг}$	—	По табл. XXII	0,995
То же на сгоревшее топливо	$\beta_{IVp}^{сг}$	—	$\frac{\beta_{IV}^{сг}}{1 - \frac{q_4}{100}}$	$\frac{0,995}{1 - \frac{0,5}{100}} = 1,0$

Продолжение

Рассчитываемая величина	Обозначение	Размерность	Формула и обоснование	Расчет
Доля сгоревшего топлива в зоне	$\Delta\beta$	—	$\beta_{IVp}^{cg} - \beta_{IIIp}^{cg}$	$1,0 - 0,995 = 0,005$
Температура газов на входе в зону	ϑ'	$^{\circ}\text{C}$	Из расчета III зоны	1 495
Энтальпия газов	I'	ккал/кг	То же	4 103
Температура газов на выходе из зоны	ϑ''	$^{\circ}\text{C}$	Принята предварительно	1 419
Энтальпия газов	I''	ккал/кг	По I-й таблице	3 873
Теплоемкость продуктов сгорания	Vc''	ккал/(кг $\cdot^{\circ}\text{C}$)	I''/ϑ''	$\frac{3 873}{1 419} = 2,73$
Отношение теплоемкостей	c'/c''	—	—	$\frac{2,75}{2,73} = 1,007$
Средняя температура газов в зоне	ϑ	$^{\circ}\text{C}$	$\frac{\vartheta' + \vartheta''}{2}$	$\frac{1 495 + 1 419}{2} = 1 457$
Коэффициент тепловой эффективности стен зоны (принимается равным среднему для открытых экранов)	ψ_{cp}	—	При $x=1$ по табл. 6-2	0,45
Степень черноты топки в зоне	a_{τ}	—	По линейной интерполяции	0,948
Коэффициент переизлучения в данную зону	$\psi'' - \psi'$	—	По п. 6-39	-0,05
Температура газов на выходе из зоны	ϑ''	$^{\circ}\text{C}$	$\frac{\Delta\beta Q_H}{Vc''} + \frac{c'}{c''} \vartheta' -$ $- \left[1 + \left(\frac{T''}{T'} \right)^4 \right] \times$ $\times \frac{\sigma_0 a_{\tau} T'^4}{2 B_p V c''} [F_{c, cp} (\psi'' -$ $- \psi') + F_{c\tau} \psi_{cp}]$	$\frac{0,01 \cdot 5 000}{2,73} + 1,007 \cdot 1 495 -$ $- \left[1 + \left(\frac{1 692}{1 768} \right)^4 \right] \frac{4,9 \cdot 10^{-8} \cdot 0,948}{2 \cdot 133 800 \cdot 2,73} \times$ $\times 1 768^4 [164,5 (-0,05) + 227,7 \times$ $\times 0,45] = 1 419$
Средняя тепловая нагрузка радиационных поверхностей в зоне	$q_{лIV}$	ккал/(м $^2 \cdot \text{ч}$)	$4,9 \cdot 10^{-8} \psi_{cp} a_{\tau} T_{cp}^4$	$4,9 \cdot 10^{-8} \cdot 0,45 \cdot 0,948 \cdot 1 730^4 =$ $= 187 000$
V зона				
Доля сгоревшего топлива в зоне	$\Delta\beta$	—	По табл. XXII	0
Температура газов на входе в зону	ϑ'	$^{\circ}\text{C}$	Из расчета IV зоны	1 419
Энтальпия газов	I'	ккал/кг	По I-й таблице	3 873
Температура газов на выходе из зоны	ϑ''	$^{\circ}\text{C}$	Принята предварительно	1 308
Энтальпия газов	I''	ккал/кг	По I-й таблице	3 541
Теплоемкость продуктов сгорания	Vc''	ккал/(кг $\cdot^{\circ}\text{C}$)	I''/ϑ''	$\frac{3 541}{1 308} = 2,71$
Отношение теплоемкостей	c'/c''	—	—	$\frac{2,73}{2,71} = 1,007$
Средняя температура газов в зоне	ϑ	$^{\circ}\text{C}$	$\frac{\vartheta' + \vartheta''}{2}$	$\frac{1 419 + 1 308}{2} = 1 364$
Коэффициент тепловой эффективности, принимается средним для гладкотрубных экранов	$\psi_{ср}$	—	При $x=1$ по табл. 6-2	0,45

Продолжение

Рассчитываемая величина	Обозначение	Размерность	Формула или обоснование	Расчет
Коэффициент тепловой эффективности выходного окна ширм	ψ_m	—	$\beta\psi_{\text{экp}}$	$0,92 \cdot 0,45 = 0,415$
Средний коэффициент тепловой эффективности в зоне	$\psi_{\text{сp}}$	—	$\frac{\psi_{\text{экp}} F_{\text{экp}} + \psi_m F_m}{\Sigma F}$	$\frac{0,45 \cdot 227,7 + 0,415 \cdot 77,4}{305,1} = 0,44$
Степень черноты топки там же	a_T	—	По линейной интерполяции	0,93
Коэффициент переизлучения в данную зону	$\psi'' - \psi'$	—	По п. 6-39	-0,05
Температура газов на выходе из зоны	ϑ''	°C	$\frac{\Delta\beta Q_H^p}{Vc''} + \frac{c'}{c''} \vartheta' - \left[1 + \left(\frac{T''}{T'} \right)^4 \right] \times \times \frac{4,9 \cdot 10^{-8} a_T}{2B_p Vc''} T'^4 \times \times [F_{\text{с.ср}} (\psi'' - \psi') + \psi_{\text{сp}} F_{\text{сr}}]$	$1,007 \cdot 1\,419 - \left[1 + \left(\frac{1\,581}{1\,692} \right)^4 \right] \times \times \frac{4,9 \cdot 10^{-8} \cdot 0,93}{2 \cdot 133\,800 \cdot 2,71} \cdot 1\,692^4 \times \times [120 (-0,05) + 0,45 \cdot 305,1] = 1\,308$
Средняя тепловая нагрузка экранов в зоне	$q_{\text{лв}}$	ккал/(м²·ч)	$4,9 \cdot 10^{-8} \psi_{\text{сp}} a_T T_{\text{сp}}^4$	$4,9 \cdot 10^{-8} \cdot 0,45 \cdot 0,93 \cdot 1\,637^4 = 144\,000$
Средняя тепловая нагрузка окна в ширмовый пароперегреватель	$q_{\text{лшв}}$	"	$4,9 \cdot 10^{-8} \psi_m a_T T_{\text{сp}}^4$	$4,9 \cdot 10^{-8} \cdot 0,415 \cdot 0,93 \cdot 1\,637^4 = 135\,500$

VI зона

Коэффициент тепловой эффективности экранов в зоне, принимается на 10% меньше среднего	$\psi_{\text{экp}}$	—	При $x = 1$ по табл. 6-2	$0,9 \cdot 0,45 = 0,405$
Коэффициент тепловой эффективности выходного окна ширм	ψ_m	—	$\beta\psi_{\text{экp}}$	$0,92 \cdot 0,405 = 0,372$
Средний коэффициент тепловой эффективности в зоне	$\psi_{\text{сp}}$	—	$\frac{\Sigma \psi_i F_i}{\Sigma F_{\text{сr}}}$	$\frac{0,405 \cdot 425,5 + 0,372 \cdot 234,0}{658,6} = 0,394$
Доля сгоревшего топлива	$\Delta\beta$	—	По табл. XXII	0
Температура газов на входе в зону	ϑ'	°C	Из расчета V зоны	1 308
Энтальпия газов	I'	ккал/кг	По I-й таблице	3 541
Температура газов на выходе из зоны	ϑ''	°C	Принята предварительно	1 153
Энтальпия газов	I''	ккал/кг	По I-й таблице	3 073
Теплоемкость продуктов сгорания	Vc''	ккал/(кг·°C)	I''/ϑ''	$\frac{3\,073}{1\,153} = 2,67$
Отношение теплоемкостей	c'/c''	—	—	$\frac{2,71}{2,67} = 1,015$
Средняя температура газов в зоне	ϑ	°C	$\frac{\vartheta' + \vartheta''}{2}$	$\frac{1\,308 + 1\,153}{2} = 1\,231$

Продолжение

Рассчитываемая величина	Обозначение	Размерность	Формула или обоснование	Расчет
Эффективная степень черноты топки	a_z	—	См. выше	0,91
Коэффициент переизлучения в данную зону	$\psi'' - \psi'$	—	По п. 6-39	0
Температура газов на выходе из зоны	ϑ''	°C	$\frac{\Delta Q_n}{V c'''} + \frac{c'}{c'''} \vartheta' -$ $- \left[1 + \left(\frac{T''}{T'} \right)^4 \right] \times$ $\times \frac{4,9 \cdot 10^{-8} a_z}{2 B_p V c'''} T'^4 \times$ $\times [F_{с.ср} (\psi'' - \psi') +$ $+ \psi_{ср} F_{ст}]$	$1,015 \cdot 1308 - \left[1 + \left(\frac{1426}{1581} \right)^4 \right] \times$ $\times \frac{4,9 \cdot 10^{-8} \cdot 0,91 \cdot 1581^4}{2 \cdot 133800 \cdot 2,67} \times$ $\times 0,394 \cdot 658,6 = 1162$
Энтальпия газов	I''	ккал/кг	По I-й таблице	3104
Температура газов в середине выходного окна	ϑ	°C	$\frac{\vartheta' + \vartheta''}{2}$	$\frac{1308 + 1162}{2} = 1235$
Тепловая нагрузка экранных поверхностей в зоне	$q_{лVI}$	ккал/(м²·ч)	$4,9 \cdot 10^{-8} \psi_{ср} a_z T_{ср}^4$	$4,9 \cdot 10^{-8} \cdot 0,405 \cdot 0,91 \cdot 1508^4 = 93500$
Средняя тепловая нагрузка окна в ширмовый перегреватель	$q_{лшVI}$	"	$4,9 \cdot 10^{-8} \psi_{ш} a_z T_{ср}^4$	$4,9 \cdot 10^{-8} \cdot 0,372 \cdot 0,91 \cdot 1508^4 = 85600$

Температура газов в середине выходного окна VI зоны отличается от температуры, полученной из расчета топки в целом, менее чем на 30 °C, что допустимо.

По средним значениям $q_{ш}$ в каждой зоне построен график рис. VIII-8.

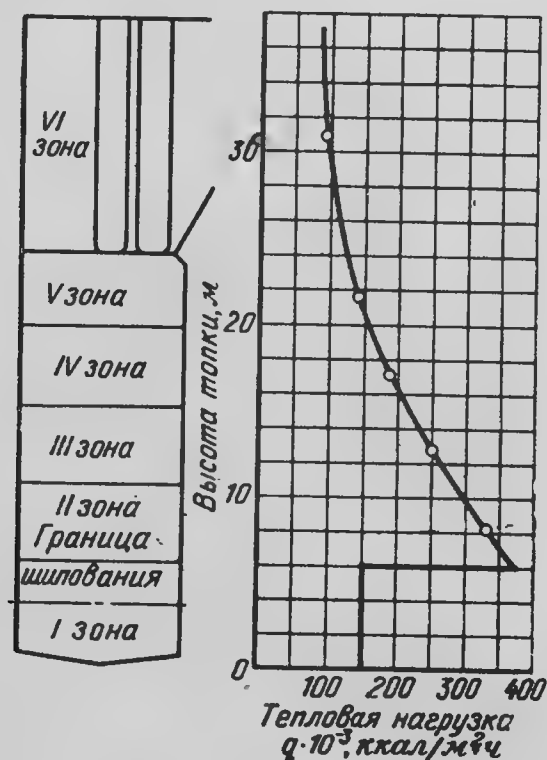


Рис. VIII-8. Распределение тепловых нагрузок по высоте топки.

В. РАСЧЕТ ТОПОЧНОЙ КАМЕРЫ С ШИРМАМИ, ВКЛЮЧЕННЫМИ В АКТИВНЫЙ ОБЪЕМ ТОПКИ

Рассчитываемая величина	Обозначение	Размерность	Формула или обоснование	Расчет или данные чертежей
-------------------------	-------------	-------------	-------------------------	----------------------------

Конструктивные характеристики

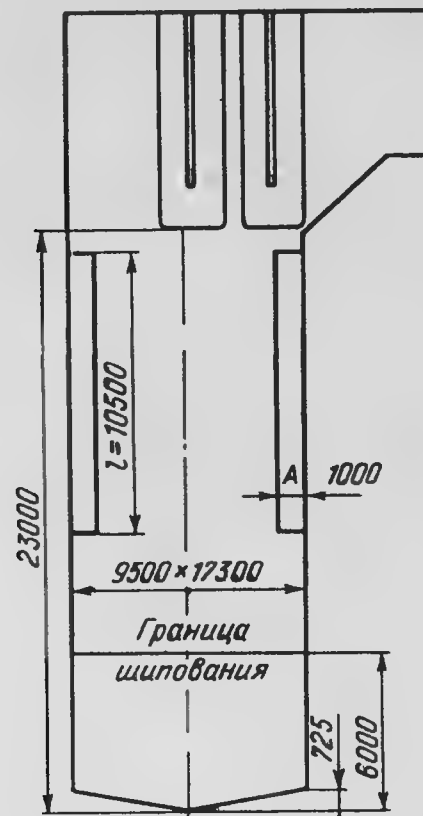


Рис. VIII-9. Схема топочной камеры с ширмами, включенными в активный объем топочной камеры.

Суммарная [поверхность настенных экранов топочной камеры	$F_{ст}$	$м^2$	По конструктивным характеристикам топки в целом	2 091
В том числе поверхность ошипованной части топки	$F_{ош}$	"	То же	432
Диаметр и толщина труб ширм	$d \times \delta$	$мм$	По чертежу	32×6
Количество ширм	$n_{ш}$	шт.	"	$12 \times 2 = 24$
Средний шаг ширм	s_1	$мм$	"	$\frac{17\,300}{12+1} = 1\,330$
Поверхность нагрева ширм	$F_{ш}$	$м^2$	$2A n_{ш}$, рис. VIII-9	$2 \cdot 10,5 \cdot 1 \cdot 24 = 504$
Поверхность задней и фронтальной стен, прилегающих к ширмам	$F_{пр.зад+фр}$	"	$F_{зад} + F_{фр}$, рис. VIII-9	$2 \cdot 17,3 \cdot 10,5 = 363$
Поверхность боковых стен, прилегающих к ширмам	$F_{б.пр}$	"	По рис. VIII-9	$2 \cdot 10,5 \cdot 1 \cdot 2 = 42$
Суммарная прилегающая поверхность	$\Sigma F_{пр}$	"	$2F_{б.пр} + F_{пр.зад+фр}$	$363 + 42 = 405$
Суммарная поверхность стен топочной камеры и ширм	ΣF	"	$F_{ст} + F_{ш}$	$2\,091 + 504 = 2\,595$
Поверхность стен, занятая экранами	$F_{эк}$	"	$F_{ст} - (F_{ош} + F_{пр} + F_{б.пр} + F_{гор})$	$2\,091 - (432 + 405 + 311 + 12) = 931$
Объем топочной камеры	V	$м^3$	По конструктивным характеристикам топки в целом	4 710
В том числе объем, занятый ширмами	$V_{ш}$	"	По рис. VIII-9	$2 \cdot 10,5 \cdot 1 \cdot 17,3 = 363$
Свободный объем	$V_{свб}$	"	$V - V_{ш}$	$4\,710 - 363 = 4\,347$
Разделительная горизонтальная поверхность	$F_{разд.гор}$	$м^2$	По рис. VIII-9	$1 \cdot 17,3 \cdot 2 \cdot 2 = 69,2$
Разделительная вертикальная поверхность	$F_{разд.верт}$	"	$F_{разд.верт} = F_{пр.зад+фр}$	363

Продолжение

Рассчитываемая величина	Обозначение	Размерность	Формула или обоснование	Расчет или данные чертежей
Эффективная толщина излучающего слоя свободного объема	$s_{свб}$	м	$\frac{3,6V_{свб}}{F_{ст} + F_{разд.гор} - F_{б.пр}}$	$\frac{3,6 \cdot 4347}{2091 + 69,2 - 42} = 7,38$
Эффективная толщина излучающего слоя ширмового объема	$s_{ш}$	"	$\frac{3,6V_{ш}}{F_{ш} + F_{пр} + F_{разд.верт} + F_{разд.гор}}$	$\frac{3,6 \cdot 363}{504 + 405 + 363 + 69,2} = 0,974$
Эффективная толщина излучающего слоя топочной камеры	s	"	$\frac{3,6V_{т}}{F_{свб} + F_{пр} + F_{ш}} \times$ $\times \left(1 + \frac{F_{ш}}{F_{свб} + F_{пр}} \frac{V_{свб}}{V_{т}}\right)$	$\frac{3,6 \cdot 4710}{2091 + 504} \left(1 + \frac{504}{2091} \frac{4347}{4710}\right) = 8,0$

Тепловой расчет топочной камеры с ширмами

Температура газов на выходе из топки	$\vartheta''_т$	°C	Принята предварительно	1200
Энтальпия газов там же	$I''_т$	ккал/кг	По I-й таблице	3218
Средняя суммарная теплоемкость продуктов сгорания	$V_{ср}$	ккал/(кг·°C)	$\frac{Q_т - I''_т}{\vartheta_а - \vartheta''_т}$	$\frac{5679 - 3218}{2004 - 1200} = 3,07$
Произведение Коэффициент ослабления лучей:	$p_{пs}$	(м·кгс)/см ²	$p_{пs}$	$1,03 \cdot 0,231 \cdot 8,0 = 1,9$
трехатомными газами в топочном объеме	$k_т$	1/(м·кгс/см ²)	По номограмме 3	0,27
зольными частицами	$k_{зл}$	"	По номограмме 4	6,6
частицами кокса	$k_{кокс}$	"	По п. 6-08	1,0
Безразмерный параметр	α_1	—	То же	0,5
То же	α_2	—	"	0,1
Оптическая толщина излучающего слоя для топочного объема	kps	—	$(k_т r_{п} + k_{зл} \mu_{зл} + k_{кокс} \alpha_1 \alpha_2) p_s$	$(0,27 \cdot 0,231 + 6,6 \cdot 0,019 + 1 \cdot 0,5 \cdot 0,1) 1,03 \cdot 8,0 = 1,95$
Эффективная степень черноты факела	a_{ϕ}	—	По номограмме 2	0,86
Произведение Коэффициент ослабления лучей трехатомными газами в свободном объеме	$p_{пs_{свб}} k_т$	$\frac{(м \cdot кгс)/см^2}{1/(м \cdot кгс/см^2)}$	$p_{пs_{свб}}$ По номограмме 3	$1,03 \cdot 0,231 \cdot 7,38 = 1,75$ 0,29
Оптическая толщина излучающего слоя для свободного объема	$kps_{свб}$	—	$(k_т r_{п} + k_{зл} \mu_{зл} + k_{кокс} \alpha_1 \alpha_2) p_{свб}$	$(0,24 \cdot 0,231 + 6,6 \cdot 0,019 + 1 \cdot 0,5 \cdot 0,1) 1,03 \cdot 7,38 = 1,84$
Эффективная степень черноты факела в свободном объеме	a_c	—	По номограмме 2	0,84
Произведение Коэффициент ослабления лучей трехатомными газами в межширмовом объеме	$p_{пs_{ш}} k_т$	$\frac{(м \cdot кгс)/см^2}{1/(м \cdot кгс/см^2)}$	$p_{пs_{ш}}$ По номограмме 3	$1,03 \cdot 0,231 \cdot 0,974 = 0,232$ 0,88
Оптическая толщина излучающего слоя для межширмового объема	$kps_{ш}$	—	$(k_т r_{п} + k_{зл} \mu_{зл} + k_{кокс} \alpha_1 \alpha_2) p_{ш}$	$(0,88 \cdot 0,231 + 6,6 \cdot 0,019 + 1 \cdot 0,5 \cdot 0,1) 1,03 \cdot 0,974 = 0,379$
Эффективная степень черноты факела в межширмовом объеме	$a_{мш}$	—	По номограмме 2	0,315

Продолжение

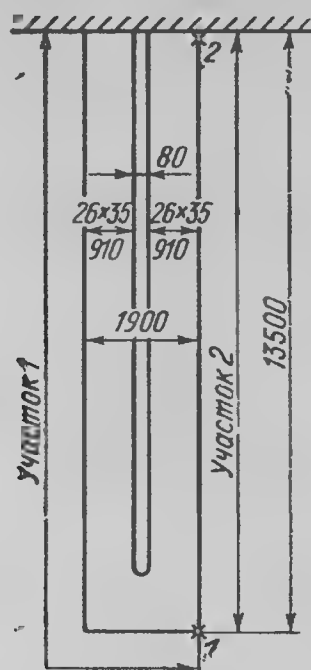
Рассчитываемая величина	Обозначение	Размерность	Формула или обоснование	Расчет или данные чертежей
Отношение ширины ширм к эффективной толщине излучающего слоя свободного объема	$A/s_{свб}$	—	$A/s_{свб}$	$\frac{1}{7,38} = 0,136$
То же к длине	ω	—	A/l	$\frac{1}{10,5} = 0,095$
Поправочный коэффициент	$C_{ш}$	—	По номограмме 5, $A < s_1$	0,96
То же	$C_{пр}$	—	По номограмме 5, $l > s_1$	0,93
Коэффициент облученности: для ширм	$\varphi_{ш}$	—	По номограмме 5, $A/s_1 = \frac{1}{1,33} = 0,75$	0,27
для прилегающих экранов	$\varphi_{пр}$	—	По номограмме 5	0,36
Эффективная степень черноты излучающего слоя: на ширмовую поверхность	$a_{ш}$	—	$a_{мш} + \varphi_{ш} C_{ш} a_{свб}$	$0,316 + 0,27 \cdot 0,96 \cdot 0,84 = 0,534$
на прилегающие к ширмам экраны	$a_{пр}$	—	$a_{мш} + \varphi_{пр} C_{пр} a_{свб}$	$0,316 + 0,36 \cdot 0,93 \cdot 0,84 = 0,597$
Коэффициент, характеризующий неравномерность освещенности: ширм	$Z_{ш}$	—	$a_{ш}/a_{свб}$	$\frac{0,534}{0,84} = 0,62$
экранов, прилегающих к ширмам	$Z_{пр}$	—	$a_{пр}/a_{свб}$	$\frac{0,597}{0,84} = 0,695$
Поверхность топочных ширм (с учетом неполного их освещения)	$F'_{ш}$	м ²	$Z_{ш} F_{ш}$	$0,62 \cdot 504 = 312$
Поверхность прилегающих к ширмам экранов (с учетом неполного их освещения)	$F'_{пр}$	"	$Z_{пр} F_{пр}$	$0,695 \cdot 405 = 281$
Суммарная поверхность стен (с учетом неполного их освещения)	$F'_{ст}$	"	$F_{ош} + F_{экр} + F'_{ш} + F'_{пр}$	$432 + 931 + 312 + 281 + 311 + 12 = 2\,279$
Коэффициент тепловой эффективности открытых экранов	$\psi_{экр}$	—	При $x=1$ по табл. 6-2	0,45
Коэффициент тепловой эффективности: ширм, включенных в объем топки	$\psi_{ш}$	—	При $x=1$ по табл. 6-2	0,45
ширм, расположенных в выходном окне	$\psi_{ок}$	—	Из расчета топки в целом	0,414
ошипованных экранов	$\psi_{ош}$	—	При $x=1$ ζ — из расчета топки в целом	0,193
экранов, прилегающих к ширмам	$\psi_{пр}$	—	$\psi_{пр} = \psi_{экр}$	0,45
Средний коэффициент	$\psi_{ср}$	—	$\frac{\sum \psi_i F_i}{F'_{ст}}$	$\frac{0,193 \cdot 432 + 0,45 \cdot 931 + 0,45 \cdot 312 + 0,45 \cdot 281 + 0,414 \cdot 311}{2\,279} = 0,381$
Степень черноты топки	a_T	—	По номограмме 6	0,942

Определение расчетной температуры металла стенки труб НРЧ

Рассчитываемая величина	Обозначение	Размерность	Формула или обоснование	Расчет	
				точка 1 (рис. VIII-10)	точка 2 (рис. VIII-10)
Диаметр и толщина трубы	$d \times \delta$	мм	Конструктивные данные	32×6	32×6
Отношение наружного диаметра к внутреннему	β	—	$d_{нар}/d_{вн}$	$\frac{32}{20} = 1,6$	1,6
Материал	—	—	Конструктивные данные	12Х1МФ	12Х1МФ
Энтальпия среды на входе в экраны I хода НРЧ	$i'_{Iх}$	ккал/кг	$i'_{Iх} = i''_{пода}$	348,6	348,6
Коэффициент распределения тепловосприятия между стенами топки	$\eta_{ст}$	—	По табл. IV-3	1,0	1,0
Коэффициент неравномерности тепловосприятия элемента по ширине стены топки	$\eta_{ш}$	—	По табл. IV-2 (8 элементов по ширине стены)	1,3	1,3
Тепловосприятие экранов I хода НРЧ	$Q_{Iх}$	ккал/кг	$\frac{Q_{НРЧ}}{2}$	$\frac{872}{2} = 436$	$\frac{872}{2} = 436$
Приращение энтальпии среды в экранах I хода НРЧ (с учетом разверки по элементам)	$\Delta i_{Iх}$	"	$\eta_{ш} \frac{Q_{Iх} \eta_{ст} B_p}{D_{Iх}}$	$1,3 \frac{436 \cdot 1,0 \cdot 133,8 \cdot 10^3}{900 \cdot 10^3} = 84,5$	$1,3 \frac{436 \cdot 1,0 \cdot 133,8 \cdot 10^3}{900 \cdot 10^3} = 84,5$
Энтальпия среды на выходе из экранов I хода НРЧ	$i''_{Iх}$	"	$i'_{Iх} + \Delta i_{Iх}$	$348,6 + 84,5 = 433,1$	$348,6 + 84,5 = 433,1$
Температура среды на выходе из экранов I хода НРЧ	$t''_{Iх}$	°C	По таблицам воды и пара	376 ($p = 292 \text{ кгс/см}^2$)	376 ($p = 292 \text{ кгс/см}^2$)
Приращение энтальпии среды в экранах II хода НРЧ до рассчитываемой точки (с учетом разверки по элементам)	$\Delta i_{IIх}$	ккал/кг	$\eta_{ш} \frac{Q_{уч} \eta_{ст} B_p}{D_{IIх}}$	$1,3 \cdot \frac{312}{2} \cdot \frac{1,0 \cdot 133,8 \cdot 10^3}{900 \cdot 10^3} = 30,2$	$1,3 \cdot \frac{872}{2} \cdot \frac{1,0 \cdot 133,8 \cdot 10^3}{900 \cdot 10^3} = 84,5$
Энтальпия среды в расчетном сечении	i	"	$i''_{Iх} + \Delta i_{IIх}$	$433,1 + 30,2 = 463,3$	$433,1 + 84,5 = 517,6$
Температура среды в расчетном сечении	t	°C	По таблицам воды и пара	385 ($p = 290 \text{ кгс/см}^2$)	396 ($p = 290 \text{ кгс/см}^2$)
Коэффициент конструктивной нетождественности для I и II ходов	$\eta_{н}$	—	С учетом обводки труб вокруг горелок	1,06/1,1	1,06/1,1
Коэффициент гидравлической разверки для I и II ходов	ρ_r	—	Определяется по нормам гидравлического расчета	0,96/0,97	0,96/0,97
Коэффициент неравномерности для определения максимального удельного тепловосприятия по ширине стены	$\eta_{ш-макс}$	—	Приложение IV, п. 7	1,3	1,4
Коэффициент неравномерности суммарного тепловосприятия в расчетном сечении	$\eta_{т}$	—	Приложение IV, п. 6 и табл. IV-4	Нижняя часть топки; расстояние от оси горелок до расчетного сечения менее $4D_a$ 1,0	Расстояние от оси горелок до расчетного сечения более $4D_a$ 1,1
Коэффициент неравномерности суммарного тепловосприятия на рассчитываемом участке	$\eta_{т.уч}$	—	$\frac{\eta_{т1} H_1 + \eta_{т2} H_2}{\Sigma H}$	1,0	$\frac{1,0 \cdot 8,0 + 1,1 \cdot 2,25}{10,25} = 1,02$ Граница нижней части топки находится на расстоянии 8,0 м от пода

Рассчитываемая величина	Обозначение	Размерность	Формула или обоснование	Расчет	
				точка 1 (рис. VIII-10)	точка 2 (рис. VIII-10)
Максимальная энтальпия среды в расчетном сечении	$i_{\text{макс}}$	ккал/кг	$i + \left(\frac{\eta_{\text{т.уч}} \eta_{\text{к}}}{\rho_{\text{г}}} - 1 \right) \Delta i_{\text{IIx}} + a \left(\frac{\eta_{\text{т.уч}} \eta_{\text{к}}}{\rho_{\text{г}}} - 1 \right) \Delta i_{\text{Ix пр}}$ До входа во II ход не обеспечивается полное перемешивание среды По таблицам воды и пара	$463,3 + \left(\frac{1,0 \cdot 1,1}{0,97} - 1 \right) 30,2 + 0,5 \left(\frac{1,02 \cdot 1,06}{0,96} - 1 \right) \times 84,5 = 472,7$	$517,6 + \left(\frac{1,02 \cdot 1,1}{0,97} - 1 \right) 84,5 + 0,5 \left(\frac{1,02 \cdot 1,06}{0,96} - 1 \right) 84,5 = 536,2$
Максимальная температура среды в расчетном сечении	$t_{\text{макс}}$	°C	По таблицам воды и пара	388 ($p = 290 \text{ кгс/см}^2$)	398 ($p = 290 \text{ кгс/см}^2$)
Превышение температуры среды в расчетной точке над средней	$\Delta t_{\text{т}}$	°C	$t_{\text{макс}} - t$	388—385=3	398—396=2
Температура газов в расчетном сечении	$\theta_{\text{р}}$	"	Из позонного расчета	1 729	1 590
Удельное тепловосприятие поверхности нагрева в расчетном сечении	$q_{\text{с}}$	ккал/(м ² ·ч)	Из позонного расчета, рис. VIII-9	$386 \cdot 10^3$	$283 \cdot 10^3$
Максимальное расчетное удельное тепловосприятие	$q_{\text{макс.р}}$	"	$\eta_{\text{ш.макс}} \eta_{\text{ст}} q_{\text{с}}$	$1,3 \cdot 1,0 \cdot 386 \cdot 10^3 = 502 \cdot 10^3$	$1,4 \cdot 1,0 \cdot 283 \cdot 10^3 = 396 \cdot 10^3$
Принятое максимальное удельное тепловосприятие	$q_{\text{макс}}$	"	Принимаем по табл. IV-5	$400 \cdot 10^3$	$396 \cdot 10^3$
Сечение для прохода среды в каждом ходе	f	м ²	$0,785 d_{\text{вн}}^2 n_{\text{тр}}$	$0,785 \cdot 0,02^2 \frac{(17,3+9,5) \cdot 2}{2 \cdot 0,046} = 0,182$	0,182
Массовая скорость среды	$w_{\text{р}}$	кг/(м ² ·сек)	$\frac{D \rho_{\text{г}}}{3 600 f}$	$\frac{900 \cdot 10^3 \cdot 0,97}{3 600 \cdot 0,182} = 1 330$	$\frac{900 \cdot 10^3 \cdot 0,97}{3 600 \cdot 0,182} = 1 330$
Коэффициент теплоотдачи от стенки к внутренней среде	α_2	ккал/(м ² ·ч·°C)	Принимаем предварительно	14 550	12 900
Коэффициент теплопроводности металла стенки	$\lambda_{\text{м}}$	ккал/(м·ч·°C)	По табл. IV-1	33,4	33,2
Критерий Бю	Bi	—	$\frac{d \alpha_2}{2 \beta \lambda_{\text{м}}}$	$\frac{0,032 \cdot 14 550}{2 \cdot 1,6 \cdot 33,4} = 4,84$	$\frac{0,032 \cdot 12 900}{2 \cdot 1,6 \cdot 33,2} = 4,32$
Относительный шаг	s/d	—	s/d	$\frac{46}{32} = 1,44$	$\frac{46}{32} = 1,44$
Коэффициент растечки	μ	—	По номограмме 42	0,92	0,91
Внутренняя тепловая нагрузка	$q_{\text{вн.макс}}$	ккал/(м ² ·ч)	$\mu \beta q_{\text{макс}}$	$0,92 \cdot 1,6 \cdot 400 \cdot 10^3 = 590 \cdot 10^3$	$0,91 \cdot 1,6 \cdot 396 \cdot 10^3 = 576 \cdot 10^3$
Параметр	a	—	$10^{-3} \frac{q_{\text{вн.макс}}}{3,6 w_{\text{р}}}$	$\frac{10^{-3} \cdot 590 \cdot 10^3}{3,6 \cdot 1 330} = 0,123$	$\frac{10^{-3} \cdot 576 \cdot 10^3}{3,6 \cdot 1 330} = 0,12$
Расчетный коэффициент теплоотдачи от стенки к внутренней среде	α_2	ккал/(м ² ·ч·°C)	По номограмме 35	1,5 · 9 700 = 14 550	1,33 · 9 700 = 12 900
Температура металла стенки	$t_{\text{ст}}$	°C	$t + \Delta t_{\text{т}} + \beta \mu q_{\text{макс}} \times \left(\frac{\delta}{\lambda_{\text{м}}} \cdot \frac{1}{1 + \beta} + \frac{1}{\alpha_2} \right)$	$385 + 3 + 1,6 \cdot 0,92 \cdot 400 \cdot 10^3 \times \left(\frac{0,006}{33,4} \cdot \frac{1}{1 + 1,6} + \frac{1}{14 550} \right) = 474$	$396 + 2 + 1,6 \cdot 0,91 \cdot 396 \cdot 10^3 \times \left(\frac{0,006}{33,2} \cdot \frac{1}{1 + 1,6} + \frac{1}{12 900} \right) = 487$

ШИРМЫ I СТУПЕНИ

Рис. VIII-11.
Ширма I ступени.

Рассчитываемая величина	Обозначение	Размерность	Формула или обоснование	Расчет или данные чертежей
Конструктивные характеристики первой ширмы				
Диаметр и толщина труб	$d \times \delta$	мм	Конструктивные данные из теплового расчета	32×6
Количество ширм	$n_{ш}$	шт.	То же	24
Количество труб в ширме	$n_{тр}$	"	"	27
Средний шаг между ширмами и продольный шаг	s_1/s_2	мм	"	692/35
Относительные шаги	σ_1/σ_2	"	$s_1/d; s_2/d$	692/32=21,6; 35/32=1,09
Поверхность нагрева ширм I ступени	$H_{ш}$	м²	Конструктивные данные	2 393
Лучевоспринимающая поверхность ширм на входе в них	$H_{л.вх.ш}$	"	То же	311
Эффективная толщина излучающего слоя	s	м	"	0,888
Сечение для прохода пара	$f_{п}$	м²	"	0,204
Угловой коэффициент ширмы	x	—	По номограмме 1, а, кривая 5	0,98

Примечания: 1. Температура металла в сечении 1 проверяется потому, что здесь максимальная энтальпия для участка с максимальной тепловой нагрузкой.

2. Температура в сечении 2 проверяется из-за того, что в этом сечении наибольшая энтальпия.

Конструктивные характеристики рассчитываемой трубы до сечения 1 — участок 1 (рис. VIII-11)

Полная поверхность нагрева труб первого ряда	$H_{1уч}$	м²	$(s_2x + 1,57d) l_{1уч} n_{ш}$	$(0,035 \cdot 0,98 + 1,57 \cdot 0,032) \times$ $\times (13,5 + 1,9) \cdot 24 = 31,2$
Угловой коэффициент первого ряда ширм	x_1	—	По номограмме 37, 6	0,072
Лучевоспринимающая поверхность труб первого ряда	$H_{л1уч}$	—	$l_{1уч} b x_1 \frac{n_{ш}}{n_{ш}+1}$	$(13,5 + 1,9) \cdot 17,3 \cdot 0,072 \times$ $\times \frac{24}{24+1} = 18,4$
Расчетная поверхность нагрева труб до сечения 1	$H_{р1уч}$	м²	$H_{1уч} - H_{л1уч}$	$31,2 - 18,4 = 12,8$
Сечение для прохода газов на входе в нижнюю часть ширм при поперечном омывании	$F_{г.поп}$	"	По рис. VIII-3	$8,8 \cdot 17,3 - 2 \cdot 24 \cdot 0,032 \cdot 1,9 = 149$
Поверхность нагрева части ширм до ряда, соответствующего рассчитываемому змеевику в первом ходе, включая поверхность этого ряда	$H_{ч1}^{**}$	"	$H_{ч1} = H_{1уч}$	31,2

* Отношение $\frac{n_{ш}}{n_{ш}+1}$ учитывает долю лучистого тепла, падающего на ширмы (без учета теплоотдачи боковых экранов в области ширм).

** Ввиду незначительной погрешности считаем первый ход до сечения 1, а не до середины горизонтального участка.

Конструктивные характеристики рассчитываемой трубы до сечения 2 — участок 2 (рис. VIII-11)

Полная поверхность нагрева труб рассчитываемого ряда на участке 2	$H_{2уч}$	м²	$(s_2x + 1,57d) l_{2уч} n_{ш}$	$(0,035 \cdot 0,98 + 1,57 \cdot 0,032) \times$ $\times 13,5 \cdot 24 = 27,4$
Расчетная поверхность нагрева труб до сечения 2	$H_{р.уч}$	"	$H_{р1уч} + H_{2уч}$	$12,8 + 27,4 = 40,2$
Сечение для прохода газов	$F_{г}$	"	По рис. VIII-3	$(13,5 + 4,47) \cdot 17,3 - (13,5 +$ $+ 4,47) \cdot 0,032 \cdot 24 = 266$
Поверхность нагрева части ширм до ряда, соответствующего рассчитываемому змеевику во втором ходе, включая поверхность этого ряда	$H_{ч2}$	"	$H_{ш}/2$	$\frac{2 393}{2} = 1 196$

Определение тепловосприятия участков рассчитываемой трубы

Рассчитываемая величина	Обозначение	Размерность	Формула или обоснование	Расчет	
				участок I (рассчитываемая труба до сечения 1) — рис. VIII-11	участок 1+2 (рассчитываемая труба до сечения 2) — рис. VIII-11
Температура и энтальпия газов на входе в ширмы	ϑ'/I'	$^{\circ}\text{C}/(\text{ккал}/\text{кг})$	Из теплового расчета	1 220/3 278	
То же на выходе из ширм	ϑ''/I''	"	То же	1 012/2 663	
Температура и энтальпия пара на входе в ширмы	$t_{\text{вх}}/i_{\text{вх}}$	"	" "	449/691,1	
То же на выходе из ширм	$t_{\text{вых}}/i_{\text{вых}}$	"	" "	546/792,4	
Разность температур газов и пара на входе в ширмы	$\Delta t'$	$^{\circ}\text{C}$	$\vartheta' - t_{\text{вх}}$	1 220—449=771	
То же на выходе из ширм	$\Delta t''$	"	$\vartheta'' - t_{\text{вых}}$	1 012—546=466	
Лучистое тепло, падающее из топки на ширмы I ступени	$Q_{\text{л.вх}}$	$\text{ккал}/\text{кг}$	$q_{\text{л.шV}} \frac{F_{\text{окV}}}{2} + q_{\text{л.шVI}} F_{\text{окVI}}$ B_p $q_{\text{л.шV}}$ и $q_{\text{л.шVI}}$ — из позонного расчета	$135\,500 \cdot \frac{77,4}{2} + 85\,600 \cdot 234$ $133,8 \cdot 10^3 = 188$	
Тепловосприятие излучением из топки I ряда ширм I ступени до сечения 1	$Q_{\text{уч.л}}$	"	$\frac{Q_{\text{л.вх}}}{\beta} \frac{n_m}{n_m+1} x_1$	$\frac{188}{0,92} \cdot \frac{24}{24+1} 0,072 = 12,1$ 12,1	
Коэффициент теплоотдачи от газов к стенке	α_1	$\text{ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^{\circ}\text{C})$	Из теплового расчета ширм	106	
Коэффициент загрязнения	ϵ	$(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^{\circ}\text{C})/\text{ккал}$	То же	0,0086	
Расчетный коэффициент теплопередачи	k	$\text{ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^{\circ}\text{C})$	$\frac{\alpha_1}{1 + \epsilon \alpha_1}$	$\frac{106}{1 + 0,0086 \cdot 106} = 55,5$ 55,5	
Средний температурный напор для рассчитываемого змеевика	$\Delta t_{\text{уч}}$	$^{\circ}\text{C}$	$\Delta t' - \frac{\Sigma H_i}{zH} (\Delta t' - \Delta t'')$	$771 - \frac{31,2}{1 \cdot 2\,393} (771 - 466) = 767$ $771 - \frac{31,2 + 1\,196}{2 \cdot 2\,393} \times$ $\times (771 - 466) = 693$	
Тепловосприятие участка конвекцией	$Q_{\text{уч.к}}$	$\text{ккал}/\text{кг}$	$\frac{k \Delta t_{\text{уч}} H_{\text{р.уч}}}{B_p}$	$\frac{55,5 \cdot 767 \cdot 12,8}{133,8 \cdot 10^3} = 4,07$ $\frac{55,5 \cdot 693 \cdot 40,2}{133,8 \cdot 10^3} = 11,6$	
Суммарное тепловосприятие участка труб до расчетного сечения	$Q_{\text{уч}}$	"	$Q_{\text{уч.к}} + Q_{\text{уч.л}}$	4,07 + 12,1 = 16,17 11,6 + 12,1 = 23,7	

Определение расчетной температуры металла стенки

Рассчитываемая величина	Обозначение	Размерность	Формула или обоснование	Расчет	
				точка 1 (рис. VIII-11)	точка 2 (рис. VIII-11)
Диаметр, толщина и материал стенки труб	$d \times \delta$	мм	Конструктивные данные	32X6; X18H12T	32X6; X18H12T
Отношение наружного диаметра к внутреннему	β	—	$\frac{d_{\text{нар}}}{d_{\text{вн}}} = \frac{d}{d - 2\delta}$	32/20=1,6	
Коэффициент неравномерности тепловосприятия элемента ширм	$\eta_{\text{ш}}$	—	По табл. IV-6	1,0	

Рассчитываемая величина	Обозначение	Размерность	Формула или обоснование	Расчет	
				точка 1 (рис. VIII-11)	точка 2 (рис. VIII-11)
Коэффициент неравномерности тепловосприятости развернутой трубы	η_T	—	По табл. IV-6	1,3	
Коэффициент конструктивной нетождественности	η_K^*	—	Приложение IV, п. 6 и 11	1	
Коэффициент гидравлической разверки	ρ_T	—	Определяется по нормам гидравлического расчета	0,97	
Приращение энтальпии пара на участке до расчетного сечения	Δi_x	ккал/кг	$\frac{\eta_{\text{ш}} B_p Q_{\text{уч}}}{D_{\text{уч}}}$	$\frac{1,0 \cdot 133,8 \cdot 10^3 \cdot 16,17}{930\,000} = 62,7$	$\frac{1,0 \cdot 133,8 \cdot 10^3 \cdot 23,7}{930\,000} = 92,0$
Энтальпия пара в расчетном сечении	i	ккал/кг	$i_{\text{вх}} + \Delta i_x$	$691,1 + 62,7 = 753,8$	$691,1 + 92,0 = 783,1$
Температура пара в расчетном сечении	t	°C	По таблицам воды и пара	505 ($p = 272 \text{ кгс/см}^2$)	537 ($p = 268 \text{ кгс/см}^2$)
Максимальная энтальпия пара в расчетном сечении	$i_{\text{макс}}$	ккал/кг	$i + \left(\frac{\eta_T \eta_K}{\rho_T} - 1 \right) \Delta i_x$	$753,8 + \left(\frac{1,3 \cdot 1}{0,97} - 1 \right) \times 62,7 = 775,1$	$783,1 + \left(\frac{1,3 \cdot 1}{0,97} - 1 \right) \times 92,0 = 814,4$
Максимальная температура пара в расчетном сечении	$t_{\text{макс}}$	°C	По таблицам воды и пара	529; $v_{\text{макс}} = 0,01114$ ($p = 272 \text{ кгс/см}^2$)	577; $v_{\text{макс}} = 0,01273$ ($p = 268 \text{ кгс/см}^2$)
Превышение температуры пара в расчетном сечении над средней	Δt_T	"	$t_{\text{макс}} - t$	529—505 = 24	577—537 = 40
Температура газов в расчетном сечении	ϑ_p	"	$\vartheta' - (\vartheta' - \vartheta'') \frac{H_{\text{г}}}{H}$ или из позонного расчета топки	1 308, из позонного расчета топки	1 220—(1 220—1 012) $\times \frac{1\,196}{2\,393} = 1\,116$
Скорость газов	w_g	м/сек	$\frac{B_p V_g (\vartheta_p + 273)}{3\,600 \cdot 273 F_g}$	$\frac{133,8 \cdot 10^3 \cdot 7,15 (1\,308 + 273)}{3\,600 \cdot 273 \cdot 149} = 10,3$	$\frac{133,8 \cdot 10^3 \cdot 7,15 (1\,116 + 273)}{3\,600 \cdot 273 \cdot 266} = 5,1$
Коэффициент теплоотдачи конвекцией	α_K	ккал/(м ² ·ч·°C)	По номограмме 12 или 13	83,5·0,8·1,03·0,96=66,0 По номограмме 13, первый ряд ширм 1,6	44,0·1,0·0,6·0,93=24,6 По номограмме 12
Коэффициент неравномерности тепловосприятости конвекцией по окружности трубы	$k_{\text{ТР}}$	—	По табл. IV-7	1,6	2,0
Произведение	$p_{\text{пс}}$	м·кгс/см ²	$p r_{\text{пс}}$	—	1,03·0,231·0,888=0,211
Коэффициент ослабления лучей трехатомными газами	k_T	1/(м·кгс/см ²)	По номограмме 3	—	0,96
Коэффициент ослабления лучей золовыми частицами	$k_{\text{зп}}$	"	По номограмме 4	—	6,9
Оптическая толщина запыленного потока	$k_{\text{пс}}$	—	$(k_T r_{\text{п}} + k_{\text{зп}} \mu_{\text{зп}}) p_{\text{с}}$	—	(0,96·0,231+6,9·0,019) $\times$
Температура загрязненной стенки	t_s	°C	Принимается предварительно	1 000	$\times 1,03 \cdot 0,888 = 0,323$ 700

* Коэффициент конструктивной нетождественности принимается равным 1, так как тепловосприятость определяется по фактической длине трубы.

Рассчитываемая величина	Обозначение	Размерность	Формула или обоснование	Расчет	
				точка 1 (рис. VIII-11)	точка 2 (рис. VIII-11)
Коэффициент теплоотдачи межтрубным излучением	$\alpha_{л.мтр}$	$\text{ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C})$	По номограмме 19	—	$0,275 \cdot 305 = 84,0$
Удельное тепловосприятие излучением из топки	$q_{л}$	$\text{ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$	Из позонного расчета по рис. VIII-8	$128 \cdot 10^3$	$88,5 \cdot 10^3$
Коэффициент теплоотдачи излучением из топки	$\alpha_{л.т}$	$\text{ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C})$	$\frac{q_{л}}{\theta_p - t_3}$	$\frac{128 \cdot 10^3}{1308 - 1000} = 416$	$\frac{88,5 \cdot 10^3}{1116 - 700} = 213$
Коэффициент облученности из топки	φ_T	—	Приложение IV, п. 14 и по номограмме 38	1,0	0,08
Коэффициент теплоотдачи излучением	$\alpha_{л}$	$\text{ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C})$	$\varphi_T \alpha_{л.т} + (1 - \varphi_T) \alpha_{л.мтр}$	416	$0,08 \cdot 213 + (1 - 0,08) 84,0 = 94,2$
Коэффициент теплоотдачи от газов к стенке	α_1	"	$k_{тр} \alpha_k + \alpha_{л}$	$1,6 \cdot 66,0 + 416 = 521,5$	$2,0 \cdot 24,6 + 94,2 = 143,4$
Скорость пара	$w_{п}$	$\text{м}/\text{сек}$	$\frac{D p_{г} v_{\text{макс}}}{3600 f_{п}}$	$\frac{930000 \cdot 0,97 \cdot 0,01114}{3600 \cdot 0,204} = 13,7$	$\frac{930000 \cdot 0,97 \cdot 0,01273}{3600 \cdot 0,204} = 15,7$
Коэффициент теплоотдачи от стенки к пару	α_2	$\text{ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C})$	По номограмме 15	$5220 \cdot 1,08 = 5650$	$4950 \cdot 1,08 = 5350$
Коэффициент теплопроводности металла стенки	$\lambda_{м}$	$\text{ккал}/(\text{м} \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C})$	По табл. IV-1	21,25	21,1
Критерий Био	Bi	—	$\frac{d \alpha_2}{2 \beta \lambda_{м}}$	—	$\frac{0,032 \cdot 5350}{2 \cdot 1,6 \cdot 21,1} = 2,54$
Коэффициент растечки	μ	—	Приложение IV, п. 17 и по номограмме 42	1,0	0,85
Коэффициент загрязнения	ε	$(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C})/\text{ккал}$	§ 7-Б, д	0,0105	0,0086
Среднее значение удельного тепловосприятия наиболее нагруженной образующей трубы	q_0	$\text{ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$	$\frac{\theta_p - t}{\beta \mu \left(\frac{\delta}{\lambda_{м}} \frac{2}{\beta + 1} + \frac{1}{\alpha_2} \right) + \frac{1}{\alpha_1} + 0,25 \varepsilon} \rightarrow$	$\frac{1308 - 505}{1,6 \cdot 1,0 \left(\frac{0,006}{21,25} \times \frac{2}{1,6 + 1} + \frac{1}{5650} \right) + \frac{1}{521,5} + 0,25 \cdot 0,0105} = 155 \cdot 10^3$	$\frac{1116 - 537}{1,6 \cdot 0,85 \left(\frac{0,006}{21,1} \times \frac{2}{1,6 + 1} + \frac{1}{5350} \right) + \frac{1}{143,4} + 0,25 \cdot 0,0086} = 60 \cdot 10^3$
Среднее значение температуры наружной поверхности трубы	$t_{н.ср}$	$^\circ\text{C}$	$t + \beta \mu q_0 \left(\frac{\delta}{\lambda_{м}} \frac{2}{\beta + 1} + \frac{1}{\alpha_2} \right)$	$505 + 1,6 \cdot 155 \cdot 10^3 \cdot 1,0 \cdot \left(\frac{0,006}{21,25} \times \frac{2}{1,6 + 1} + \frac{1}{5650} \right) = 603$	$537 + 1,6 \cdot 60 \cdot 10^3 \cdot 0,85 \cdot \left(\frac{0,006}{21,1} \times \frac{2}{1,6 + 1} + \frac{1}{5350} \right) = 576$
Температура загрязненной стенки	t_3	"	$t_{н.ср} + 0,25 \varepsilon q_0$	$603 + 0,25 \cdot 0,0105 \cdot 155 \cdot 10^3 = 1010$	$576 + 0,25 \cdot 0,0086 \cdot 60 \cdot 10^3 = 705$
Максимальное удельное тепловосприятие	$q_{\text{макс}}$	$\text{ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$	$\eta_{ш} \eta_{г} q_0$	$1,0 \cdot 1,3 \cdot 155 \cdot 10^3 = 202 \cdot 10^3$	$1,0 \cdot 1,3 \cdot 60 \cdot 10^3 = 78 \cdot 10^3$
Температура металла стенки	$t_{ст}$	$^\circ\text{C}$	$t + \Delta t_{г} + \beta \mu q_{\text{макс}} \times \left(\frac{\delta}{\lambda_{м}} \frac{1}{\beta + 1} + \frac{1}{\alpha_2} \right)$	$505 + 24 + 1,6 \cdot 1,0 \cdot 202 \cdot 10^3 \times \left(\frac{0,006}{21,25} \cdot \frac{1}{1,6 + 1} + \frac{1}{5650} \right) = 621^*$	$537 + 40 + 1,6 \cdot 0,85 \cdot 78 \cdot 10^3 \times \left(\frac{0,006}{21,1} \cdot \frac{1}{1,6 + 1} + \frac{1}{5350} \right) = 608$

* Получившееся значение неприемлемо, так как температура наружной поверхности стенки превысит предельно допустимую. Поэтому необходимо принять меры для снижения $t_{ст}$.

Выходной пакет вторичного перегревателя

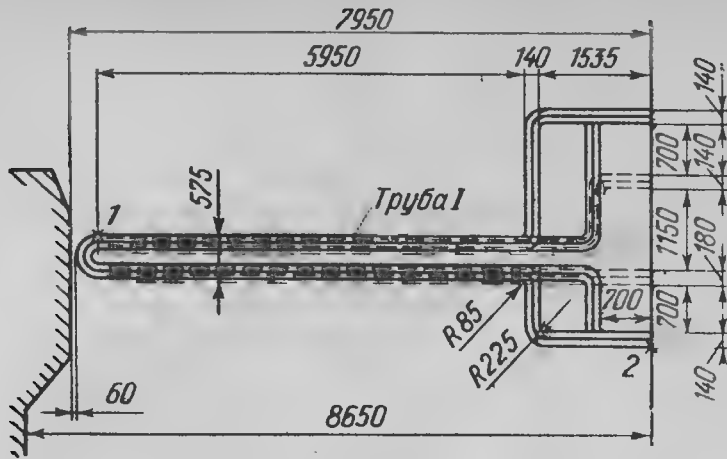


Рис. VIII-12. Выходной пакет вторичного перегревателя.

Рассчитываемая величина	Обозначение	Размерность	Формула или чертёж	Расчет
Конструктивные характеристики				
Диаметр и толщина стенки трубы	$d \times \delta$	мм	Конструктивные данные	$\begin{bmatrix} 42 \times 4 \\ 144 \\ 45 \end{bmatrix}$
Поперечный шаг	s_1	"	То же	
Фактический продольный шаг на проверяемом участке	s_2	"	" "	
Относительный поперечный и продольный шаги	$\sigma_1; \sigma_2$	—	$s_1/d; s_2/d$	$\frac{144}{42}=3,43; \frac{45}{42}=1,07$
Количество параллельно включенных труб в одном ряду по ходу газов	n_1	шт.	Конструктивные данные	119
Площадь поверхности нагрева всего пакета	F	м ²	То же	1 595
Сечение для прохода газов	$F_{г.}$	"	" "	98
Сечение для прохода пара	$f_{п.}$	"	Конструктивные данные	0,647
Эффективная толщина излучающего слоя при фактическом продольном шаге	s	м	$0,9d \left(\frac{4}{\pi} \cdot \frac{s_1 s_2}{d^2} - 1 \right)$	$0,9 \cdot 0,042 \left(\frac{4}{3,14} \cdot \frac{144 \cdot 45}{42^2} - 1 \right) = 0,139$
Эффективная толщина излучающего слоя в поворотной камере	$s_{пов.к.}$	"	Конструктивные данные	4,45
Участок трубы I до сечения 1 (рис. VIII-12)				
Длина трубы до сечения 1	l_1	м	По рис. VIII-12	9,23
Площадь поверхности нагрева труб первого ряда до сечения 1	$F_{1уч.}$	м ²	$\pi d n_1 l_1$	$3,14 \cdot 0,042 \cdot 119 \cdot 9,23 = 145$
Угловой коэффициент первого ряда пакета	x_1	—	По номограмме 1,а, кривая 5	0,395
Лучевоспринимающая поверхность первого ряда пакета	$F_{л1уч.}$	м ²	$F_{пл} x_1$	$(7,89 \cdot 17,3) \cdot 0,395 = 54,0$
Расчетная поверхность нагрева на участке	$F_{р1уч.}$	"	$F_{1уч.} - 0,5 F_{л1уч.}$	$145 - 0,5 \cdot 54,0 = 118$
Площадь поверхности нагрева части пакета до ряда, соответствующего рассчитываемому змеевику в первом ходе, включая поверхность этого ряда	$F_{ч1}$	"	$F_{ч1} = F_{уч.}$	145
Участок трубы I до сечения 2 (рис. VIII-12)				
Длина трубы до сечения 2	l_2	м	По рис. VIII-12	18,44
Полная площадь поверхности нагрева труб до сечения 2	$F_{2уч.}$	м ²	$\pi d n_1 l_2$	$3,14 \cdot 0,042 \cdot 119 \cdot 18,44 = 289$
Площадь поверхности нагрева труб между сечениями 1 и 2	F_{1-2}	"	$F_{2уч.} - F_{1уч.}$	$289 - 145 = 144$
Угловые коэффициенты участков рассчитываемого ряда пакета по излучению из последующего объема	x_p	—	По номограмме 37,а и номограмме 1,а, кривая 5	0,215/0,395*
Лучевоспринимающая поверхность рассчитываемого ряда со стороны объема за пакетом	$F_{л2уч.}$	м ²	$(l_1 x_1 + l_1 x_2) b$	$(6,215 \cdot 0,215 + 1,675 \cdot 0,395) \cdot 17,3 = 34,6$
Расчетная поверхность нагрева на участке	$F_{р.уч.}$	"	$F_{2уч.} - (0,5 F_{л1уч.} + 0,2 F_{л2уч.})$	$289 - (0,5 \cdot 54,0 + 0,2 \cdot 34,6) = 244,7$
Площадь поверхности нагрева части пакета до ряда, соответствующего рассчитываемому змеевику во втором ходе, включая поверхность этого хода	$F_{ч2}$	"	$F_{ч2} = F$	1 595
Длина трубы последнего ряда пакета	$l_{пол.}$	м	По рис. VIII-12	8,38
Площадь поверхности нагрева части пакета до сечения 2 (без последнего ряда)	$F_{ч}$	м ²	$F - F_{пол.}$	$1 595 - 3,14 \cdot 0,042 \cdot 119 \cdot 8,38 = 1 464$
Суммарная поверхность ограждающих стен в объеме за пакетом	ΣF	"	$F_{ст} + F_{подв.} + \Sigma F_{ок}$	521
Объем	V	м ³	По рис. VIII-12	$8,65 \cdot 2,8 \cdot 17,3 = 420$
Эффективная толщина излучающего слоя в объеме за пакетом	s	м	$3,6 \frac{V}{\Sigma F}$	$3,6 \frac{420}{521} = 2,9$

* На длине участка $l_I = 6,215$ м рассматриваемый ряд является вторым по отношению к объему за пакетом, а на длине участка $l_{II} = 1,675$ м — первым.

Определение тепловосприятия участков рассчитываемой трубы

Рассчитываемая величина	Обозначение	Размерность	Формула или обоснование	Расчет	
				участок трубы до сечения 1	участок трубы до сечения 2
Температура и энтальпия газов на входе в пакет	ϑ'/I'	$^{\circ}\text{C}/(\text{ккал}/\text{кг})$	Из теплового расчета	853/2 206	
То же на выходе из пакета	ϑ''/I''	"	То же	757/1 935	
Температура и энтальпия пара на входе в пакет	$t_{\text{вх}}/i_{\text{вх}}$	"	" "	506/826,7	
То же на выходе из пакета	$t_{\text{вых}}/i_{\text{вых}}$	"	" "	570/861,8	
Разность температур газов и пара на входе в пакет	$\Delta t'$	$^{\circ}\text{C}$	$\vartheta' - t_{\text{вх}}$	853—506=347	
То же на выходе из пакета	$\Delta t''$	"	$\vartheta'' - t_{\text{вых}}$	757—570=187	
Коэффициент теплоотдачи от газов к стенке	α_1	$\text{ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^{\circ}\text{C})$	Из теплового расчета	74,4+21,8=96,2 ($\xi=1$)	
Коэффициент теплоотдачи от стенки к пару	α_2	"	То же	1 310	
Коэффициент загрязнения	ϵ	$(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^{\circ}\text{C})/\text{ккал}$	" "	0,00434	
Расчетный коэффициент теплопередачи (вычисляется без учета излучения из объема на $\alpha_{\text{л}}$)	k	$\text{ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^{\circ}\text{C})$	$\frac{\alpha_1}{1 + \left(\epsilon + \frac{1}{\alpha_2} \right) \alpha_1}$	$\frac{96,2}{1 + \left(0,00434 + \frac{1}{1 310} \right) 96,2} = 64,5$	
Средний температурный напор	$\Delta t_{\text{уч}}$	$^{\circ}\text{C}$	$\Delta t' - \frac{\Sigma H_{\text{г}}}{\Sigma H} (\Delta t' - \Delta t'')$	$347 - \frac{145}{1 \cdot 1 595} \cdot (347 - 187) = 332$	$347 - \frac{145 + 1 595}{2 \cdot 1 595} (347 - 187) = 259$
Тепловосприятие участка конвекцией	$Q_{\text{уч к}}$	$\text{ккал}/\text{кг}$	$\frac{k \Delta t_{\text{уч}} H_{\text{р.уч}}}{B_{\text{р}}}$	$\frac{64,5 \cdot 332 \cdot 118}{133,8 \cdot 10^3} = 18,9$	$\frac{64,5 \cdot 259 \cdot 244,7}{133,8 \cdot 10^3} = 30,6$

Определение удельного тепловосприятия излучением

<i>Из поворотной камеры</i>					
Температура загрязненной стенки на участке до сечения 1	t_3	$^{\circ}\text{C}$	Из теплового расчета	628	628
Произведение Коэффициент ослабления лучей трехатомными газами	$p_{\text{г}} s$ $k_{\text{г}}$	$(\text{м} \cdot \text{кгс})/\text{см}^2$ $(1/\text{м} \cdot \text{кгс}/\text{см}^2)$	$p_{\text{г}} s$ По номограмме 3	1,01 · 0,231 · 4,45=1,01 0,49	1,01 0,49
Коэффициент ослабления лучей золовыми частицами	$k_{\text{зл}}$	"	По номограмме 4	7,8	7,8

Рассчитываемая величина	Обозначение	Размерность	Формула или обоснование	Расчет	
				участок трубы до сечения 1	участок трубы до сечения 2
Оптическая толщина запыленного потока	k_{ps}	—	$(k_{r_{II}} + k_{зл} \mu_{зл}) ps$	$(0,49 \cdot 0,231 + 7,8 \cdot 0,019) \times$ $\times 1,01 \cdot 4,45 = 1,14$	1,14
Коэффициент теплоотдачи излучением из поворотной камеры	α_{II}	$ккал/(м^2 \cdot ч \cdot ^\circ C)$	По номограмме 19, $\vartheta_{ср.пк} = 886^\circ C$	$0,68 \cdot 200 = 136$	136
Удельное тепловосприятие рассчитываемого ряда излучением из поворотной камеры	q_{II}	$ккал/(м^2 \cdot ч)$	$\alpha_{II}(\vartheta - t_3)$	$136(853 - 628) = 30,6 \cdot 10^3$	$30,6 \cdot 10^3$
Тепловосприятие рассчитываемого ряда излучением из поворотной камеры	Q_{II}	$ккал/кг$	$\frac{q_{II} H_{II}}{B_p}$	$\frac{30,6 \cdot 10^3 \cdot 54}{133,8 \cdot 10^3} = 12,3$	12,3
<i>Из объема, расположенного за пакетом</i>					
Температура загрязненной стенки на участке между сечениями 1 и 2	t_3	$^\circ C$	Из теплового расчета	—	628
Произведение	$p_{II} s$	$(м \cdot кгс)/см^2$	$p r_{II} s$	—	$1,01 \cdot 0,231 \cdot 2,9 = 0,677$
Коэффициент ослабления лучей трехатомными газами	k_r	$1/(м \cdot кгс/см^2)$	По номограмме 3	—	0,65
Коэффициент ослабления лучей золовыми частицами	$k_{зл}$	"	По номограмме 4	—	8,5
Оптическая толщина запыленного потока	k_{ps}	—	$(k_{r_{II}} + k_{зл} \mu_{зл}) ps$	—	$(0,65 \cdot 0,231 + 8,5 \cdot 0,019) \cdot 1,01 \times$ $\times 2,9 = 0,91$
Коэффициент теплоотдачи излучением из объема	α_{II}	$ккал/(м^2 \cdot ч \cdot ^\circ C)$	По номограмме 19; $\vartheta = 757^\circ C$	—	$0,59 \cdot 160 = 94,5$
Удельное тепловосприятие рассчитываемого ряда излучением из объема, расположенного за пакетом	q_{II}	$ккал/(м^2 \cdot ч)$	$\alpha_{II}(\vartheta - t_3)$	—	$94,5 (757 - 628) = 12,2 \cdot 10^3$
Тепловосприятие рассчитываемого ряда излучением из объема, расположенного за пакетом	Q_{II}	$ккал/кг$	$\frac{q_{II} H_{II}}{B_p}$	—	$\frac{12,2 \cdot 10^3 \cdot 34,6}{133,8 \cdot 10^3} = 3,16$

Расчет температуры металла стенки трубы

Рассчитываемая величина	Обозначение	Размерность	Формула или обоснование	Расчет	
				точка 1 (рис. VIII-12)	точка 2 (рис. VIII-12)
Диаметр и толщина стенки трубы	$d \times \delta$	мм	Конструктивные данные	42×4	42×4
Материал	—	—	Принимаем	X18H12T	X18H12T
Отношение наружного диаметра к внутреннему	β	—	$d_{нар}/d_{вн}$	$42/34 = 1,235$	$1,235$
Суммарное тепловосприятие участка трубы до расчетного сечения	$Q_{уч}$	ккал/кг	$Q_{уч.к} + \Sigma Q_{уч.п}$	$18,9 + 12,3 = 31,2$	$30,6 + 12,3 + 3,16 = 46,1$
Коэффициент неравномерности тепловосприятия элемента	$\eta_{ш}$	—	По табл. IV-6		1,0
Коэффициент неравномерности тепловосприятия развернутой трубы	$\eta_{т}$	—	То же		1,2
Коэффициент гидравлической развертки	ρ_r	—	Определяется по нормам гидравлического расчета	0,97	0,97
Приращение энтальпии пара на участке до расчетного сечения	Δi_x	ккал/кг	$\frac{\eta_{ш} B_p Q_{уч}}{D_p}$	$\frac{1,0 \cdot 133,8 \cdot 10^3 \cdot 31,2}{800\,000} = 31,3$	$\frac{1,0 \cdot 133,8 \cdot 10^3 \cdot 46,1}{800\,000} = 46,2$
Средняя энтальпия пара в расчетном сечении	i	ккал/кг	$i_{вх} + \Delta i_x$	$826,7 + 31,3 = 858,0$	$826,7 + 46,2 = 872,9$
Средняя температура пара в расчетном сечении	t	°C	По таблицам воды и пара	$563 (p = 37,5 \text{ кгс/см}^2)$	$590 (p = 37,0 \text{ кгс/см}^2)$
Максимальная энтальпия пара в расчетном сечении	$i_{\max}$	ккал/кг	$i + \left(\frac{\eta_{т} \eta_{к}^*}{\rho_r} - 1 \right) \Delta i_x$	$858,0 + \left(\frac{1,2 \cdot 1}{0,97} - 1 \right) 31,3 = 865,4$	$872,9 + \left(\frac{1,2 \cdot 1}{0,97} - 1 \right) 46,2 = 883,9$
Максимальная температура пара в расчетном сечении	$t_{\max}$	°C	По таблицам воды и пара	$577 (p = 37,5 \text{ кгс/см}^2)$	$611^{**} (p = 37,0 \text{ кгс/см}^2)$
Максимальный удельный объем пара в расчетном сечении	$v_{\max}$	м³/кг	По таблицам воды и пара	$0,1046 (p = 37,5 \text{ кгс/см}^2)$	$0,1105 (p = 37,0 \text{ кгс/см}^2)$
Превышение максимальной температуры пара в расчетном сечении над средней температурой	Δt_x	°C	$t_{\max} - t$	$577 - 563 = 14$	$611 - 590 = 21$
Температура газов в расчетном сечении	ϑ_p	"	$\vartheta' - (\vartheta' - \vartheta'') \frac{H_q}{H}$	853	$853 - (853 - 757) \frac{1\,464}{1\,595} = 765$

* Коэффициент конструктивной нетождественности равен 1, так как тепловосприятие определяется по фактической длине трубы.

** Температура пара превышает допустимую по условиям надежности необогреваемых переходных участков из стали 12Х1МФ. Необходимо обеспечить снижение температуры пара не менее чем до 600 °C.

Рассчитываемая величина	Обозначение	Размерность	Формула или обоснование	Расчет	
				точка 1 (рис. VIII-12)	точка 2 (рис. VIII-12)
Скорость газов в расчетном сечении	w_r	м/сек	$\frac{B_p V_r (\theta_p + 273)}{3600 \cdot 273 F_r}$	$\frac{133,8 \cdot 10^3 \cdot 7,15(853 + 273)}{3600 \cdot 273 \cdot 98,0} = 11,2$	$\frac{133,8 \cdot 10^3 \cdot 7,15(765 + 273)}{3600 \cdot 273 \cdot 98,0} = 10,3$
Коэффициент теплоотдачи конвекцией	α_k	ккал/(м ² ·ч·°С)	По номограмме 13	79,0·0,8·1,03·0,95 = 61,8	75,5·1,0·1,03·0,96 = 74,5
Коэффициент неравномерности тепловосприятия конвекцией по окружности трубы	$k_{тр}$	—	По табл. IV-7	1,6	1,6
Произведение	$p_{пс}$	(м·кгс)/см ²	$p r_{пс}$	—	1,01·0,231·0,139 = 0,0324
Коэффициент ослабления лучей трехатомными газами	k_r	1/(м·кгс/см ²)	По номограмме 3	—	3,15
Коэффициент ослабления лучей золовыми частицами	$k_{зл}$	"	По номограмме 4	—	8,5
Оптическая толщина запыленного потока	k_{ps}	—	$(k_r r_{пс} + k_{зл} \mu_{зл}) p_s$	—	$(3,15 \cdot 0,231 + 8,5 \cdot 0,019) \times 1,01 \cdot 0,139 = 0,125$
Температура загрязненной стенки	t_3	°С	Принимается предварительно	670	640
Коэффициент теплоотдачи межтрубным излучением	$\alpha_{л.мтр}$	ккал/(м ² ·ч·°С)	По номограмме 19, приложение IV, п. 14	—	0,12·162 = 19,5
Коэффициент теплоотдачи излучением из поворотной камеры	$\alpha_{л.об}$	ккал/(м ² ·ч·°С)	Приложение IV, п. 14	$\frac{30,6 \cdot 10^3}{853 - 670} = 167$	—
Коэффициент облученности из поворотной камеры	φ_r	—	Приложение IV, п. 14	1,0	0
Коэффициент теплоотдачи излучением для расчетной точки	α_l	ккал/(м ² ·ч·°С)	$\varphi_r \alpha_{л.об} + (1 - \varphi_r) \alpha_{л.мтр}$	167,0	19,5
Коэффициент теплоотдачи от газов к стенке	α_1	"	$k_{тр} \alpha_k + \alpha_l$	1,6·61,8 + 167,0 = 266	1,6·74,5 + 19,5 = 133,5
Скорость пара	$w_{пс}$	м/сек	$\frac{D p_r v_{мвкс}}{3600 f_{пс}}$	$\frac{800 \cdot 10^3 \cdot 0,97 \cdot 0,1046}{3600 \cdot 0,647} = 34,8$	$\frac{800 \cdot 10^3 \cdot 0,97 \cdot 0,1105}{3600 \cdot 0,647} = 36,8$
Коэффициент теплоотдачи от стенки к пару	α_2	ккал/(м ² ·ч·°С)	По номограмме 15	1280·0,97 = 1240	1280·0,97 = 1240
Коэффициент теплопроводности металла стенки	λ_m	ккал/(м·ч·°С)	По табл. IV-1	21,5	21,5
Критерий Био	Bi	—	$\frac{d \alpha_2}{2\beta \lambda_m}$	—	$\frac{0,042 \cdot 1240}{2 \cdot 1,235 \cdot 21,5} = 0,98$

Рассчитываемая величина	Обозначение	Размерность	Формула или обоснование	Расчет	
				точка 1 (рис. VIII-12)	точка 2 (рис. VIII-12)
Коэффициент растечки	μ	—	Приложение IV, п. 17; по номограмме 41 „б“	1,0; первый ряд пучка, $s_1/d > 3$	0,935
Коэффициент загрязнения	ε	$(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C})/\text{ккал}$	§ 7-Б, д	$0,0006 \cdot 1,12 \cdot 1,0 + 0,003 =$ $= 0,00367$	$0,0008 \cdot 1,12 \cdot 1,0 + 0,003 =$ $= 0,003895$
Среднее значение удельного тепловосприятия наиболее нагруженной образующей трубы	q_0	$\text{ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$	$\frac{\vartheta_p - t}{\beta \mu \left(\frac{\delta}{\lambda_m} \frac{2}{\beta + 1} + \frac{1}{\alpha_2} \right) + \frac{1}{\alpha_1} + 0,25\varepsilon}$	$\frac{(853 - 563)}{1,235 \cdot 1,0 \left(\frac{0,004}{21,5} \cdot \frac{2}{1,235 + 1} + \frac{1}{1,240} \right) + \frac{1}{266} + 0,25 \times 0,00367} = 49,3 \cdot 10^3$	$\frac{765 - 590}{1,235 \cdot 0,935 \left(\frac{0,004}{21,5} \times \frac{2}{1,235 + 1} + \frac{1}{1,240} \right) + \frac{1}{138,5} + 0,25 \cdot 0,003895} = 18,8 \cdot 10^3$
Среднее значение температуры наружной поверхности трубы	$t_{н.ср}$	$^\circ\text{C}$	$t + \beta \mu q_0 \left(\frac{\delta}{\lambda_m} \frac{2}{\beta + 1} + \frac{1}{\alpha_2} \right)$	$563 + 1,235 \cdot 1,0 \cdot 49,3 \cdot 10^3 \times \left(\frac{0,004}{21,5} \cdot \frac{2}{1,235 + 1} + \frac{1}{1,240} \right) = 623$	$590 + 1,235 \cdot 0,935 \cdot 18,8 \cdot 10^3 \times \left(\frac{0,004}{21,5} \cdot \frac{2}{1,235 + 1} + \frac{1}{1,240} \right) = 613$
Температура загрязненной стенки	t_3	"	$t_{н.ср} + 0,25\varepsilon q_0$	$623 + 0,25 \cdot 0,00367 \cdot 49,3 \times 10^3 = 668$	$613 + 0,25 \cdot 0,003895 \cdot 18,8 \cdot 10^3 = 631$
Максимальное удельное тепловосприятие	$q_{\text{макс}}$	$\text{ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$	$\eta_{\text{ш}} \eta_{\text{т}} q_0$	$1,0 \cdot 1,2 \cdot 49,3 \cdot 10^3 = 59,2 \times 10^3$	$1,0 \cdot 1,2 \cdot 18,8 \cdot 10^3 = 22,6 \cdot 10^3$
Температура металла стенки трубы	$t_{\text{ст}}$	$^\circ\text{C}$	$t + \Delta t_{\text{т}} + \beta \mu q_{\text{макс}} \times \left(\frac{\delta}{\lambda_m} \frac{1}{\beta + 1} + \frac{1}{\alpha_2} \right)$	$563 + 14 + 1,235 \cdot 1,0 \times 59,2 \cdot 10^3 \left(\frac{0,004}{21,5} \times \frac{1}{1,235 + 1} + \frac{1}{1,240} \right) = 642^*$	$590 + 21 + 1,235 \cdot 0,935 \times 22,6 \cdot 10^3 \left(\frac{0,004}{21,5} \times \frac{1}{1,235 + 1} + \frac{1}{1,240} \right) = 634$

* Получившаяся температура металла недопустима по условиям прочности и по предельно допустимой температуре, поэтому необходимо принять меры для снижения $t_{\text{ст}}$.

РАСЧЕТ МАКСИМАЛЬНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРЯМОУГОЛЬНОЙ ПЕРЕМЫЧКИ В УСЛОВИЯХ ТЕПЛОВОЙ АСИММЕТРИИ

Исходные данные:

$s = 0,046$ м; $d_n = 0,032$ м; $d_{вн} = 0,020$ м; $b_k = 0,006$ м; $\alpha_2^{(1)} = 15\,000$ ккал/(м²·ч·°С); $\alpha_2^{(2)} = 12\,000$ ккал/(м²·ч·°С)
 $t^{(1)} = 390^\circ\text{С}$, $t^{(2)} = 340^\circ\text{С}$; $\lambda_m = 31$ ккал/(м·ч·°С); $\lambda_{м.пл} = 30$ ккал/(м·ч·°С); $q = 400 \cdot 10^3$ ккал/(м²·ч)

Предварительно вычисляемые величины:

$H = s - d_n = 0,046 - 0,032 = 0,014$ м; $H/b = 2,333$; $s/d = 1,44$; $b/d = 0,188$; $\beta = 1,6$

Рассчитываемая величина	Обозначение	Расчетная формула или способ определения	Расчет и результат
Критерий Био для 1-й трубы	$Bi^{(1)}$	$\frac{r_{вн} \alpha_2^{(1)}}{\lambda_m}$	$\frac{0,01 \cdot 15\,000}{31} = 4,85$
Критерий Био для 2-й трубы	$Bi^{(2)}$	$\frac{r_{вн} \alpha_2^{(2)}}{\lambda_m}$	$\frac{0,01 \cdot 12\,000}{31} = 3,90$
Коэффициент растечки в корне перемычки, обусловленный подводом тепла перемычкой к 1-й трубе	$\mu_{к.п}^{(1)}$	По номограмме 55	1,20
То же для 2-й трубы	$\mu_{к.п}^{(2)}$	То же	1,14
Коэффициент	I_0	По номограмме 56	0,655
Коэффициент растечки в корне перемычки, обусловленный облучением 1-й трубы	$\mu_d^{(1)}$	По номограмме 57	0,168
То же для 2-й трубы	$\mu_d^{(2)}$	По номограмме 57	0,180
Вспомогательные величины	B_1	$\frac{\beta - 1}{\beta + 1} + \frac{1}{2Bi^{(1)}}$	$\frac{1,6 - 1}{1,6 + 1} + \frac{1}{2 \cdot 4,85} = 0,334$
	B_2	$\frac{\beta - 1}{\beta + 1} + \frac{1}{2Bi^{(2)}}$	$\frac{1,6 - 1}{1,6 + 1} + \frac{1}{2 \cdot 3,9} = 0,359$
Коэффициент	a_0	По номограмме 53	1,50
Параметр	P_0	$0,25 \frac{H}{b} + \mu_{к.п}^{(2)} B_2 + \frac{1}{a_0} \left[\frac{d}{H} \times \right. \\ \left. 0,25 \frac{H}{b} + 0,5 (\mu_{к.п}^{(2)} B_2 + \mu_{к.п}^{(1)} B_1) \right. \\ \left. \times (\mu_d^{(2)} B_2 - \mu_d^{(1)} B_1) \right] + \lambda_{м.пл} \frac{t^{(2)} - t^{(1)}}{H q_{\max}}$	$0,25 \cdot 2,333 + 1,14 \cdot 0,359 + \frac{1}{1,50} \left[\frac{0,032}{0,014} \times \right. \\ \left. 0,25 \cdot 2,333 + 0,5 (1,14 \cdot 0,359 + 1,20 \cdot 0,334) \right. \\ \left. \times (0,180 \cdot 0,359 - 0,168 \cdot 0,334) \right] + \\ + \frac{30 (340 - 390)}{400\,000 \cdot 0,014} = 0,847$
Коэффициент смещения	m	$0,5 - Z (1 - P_0)$	$0,5 - 0,45 (1 - 0,847) = 0,43$
Температура в прилегающем к 1-й трубе корне перемычки, °С	$t_k^{(1)}$	$t^{(1)} + \Delta t_T^{(1)} + q_{\max} \beta \left(\mu_d^{(1)} + I_0 m \mu_{к.п}^{(1)} \right) \times \\ \times \left(\frac{\delta_1}{\lambda_m} \frac{2}{\beta + 1} + \frac{1}{\alpha_2^{(1)}} \right)$	$390 + 4 \cdot 10^5 \cdot 1,6 \cdot (0,168 + 0,655 \cdot 0,43 \cdot 1,20) \times \\ \times \left(\frac{0,006}{31} \cdot \frac{2}{1 + 1,6} + \frac{1}{15\,000} \right) = 459$
Температура в прилегающем ко 2-й трубе корне перемычки, °С	$t_k^{(2)}$	$t^{(2)} + \Delta t_T^{(2)} + q_{\max} \beta \left(\mu_d^{(2)} + I_0 (1 - m) \mu_{к.п}^{(2)} \right) \times \\ \times \left(\frac{\delta}{\lambda_m} \frac{2}{1 + \beta} + \frac{1}{\alpha_2^{(2)}} \right)$	$340 + 4 \cdot 10^5 \cdot 1,6 [0,180 + 0,655 (1 - 0,43) \cdot 1,14] \times \\ \times \left(\frac{0,006}{31} \cdot \frac{2}{1 + 1,6} + \frac{1}{12\,000} \right) = 430$
Коэффициент растечки перемычки	$\mu_{пл}$	По номограмме 47	0,8
Максимальная температура металла перемычки, °С	t_{π}	$t_k^{(1)} + \mu_{\pi} \frac{H q_{\max}}{2 \lambda_{м.пл}} \times \\ \times \left[\frac{H}{b} m (P_0 - m) + 0,75 \frac{b}{H} \right]$	$459 + 0,8 \frac{0,014 \cdot 4 \cdot 10^5}{2 \cdot 30} \left[2,333 \cdot 0,43 \times \right. \\ \left. \times (0,847 - 0,43) + 0,75 \frac{1}{2,333} \right] = 514$

Д. ТЕПЛОВЫЙ РАСЧЕТ ДВУХКАМЕРНОЙ ТОПКИ КОТЕЛЬНОГО АГРЕГАТА $D=220$ т/ч НА ПЫЛИ АНГРЕНСКОГО БУРОГО УГЛЯ

1. Задание

Паропроизводительность котла (номинальная) $D=220$ т/ч
 Давление в барабане котла $p_0=112$ кгс/см²
 Давление пара на выходе из пароперегревателя (за главной парозапорной задвижкой) $p=100$ кгс/см²
 Температура перегретого пара $t_{п.п}=540^\circ\text{C}$
 Температура питательной воды $t_{п.в}=215^\circ\text{C}$
 Топливо — ангренский уголь марки Б2

Топочное устройство состоит из трех вертикальных циклонных предтопок, установленных с фронта и встроенных в камеру охлаждения.

Подача аэросмеси и вторичного воздуха — через тангенциально расположенные горелки и сопла в верхней части предтопок. Топливо подается в предтопки в виде сухой пыли ($W^п=16\%$) горячим воздухом.

Мельницы — молоткового типа с инерционными сепараторами. Система пылеприготовления — полуразомкнутая, с промбункером, с сушкой топлива в мельнице газами, отбираемыми из верхней части камеры охлаждения и смешиваемыми с горячим воздухом.

Сбросной воздух подается в камеру охлаждения через 6 щелевых вертикально расположенных горелок, установленных напротив предтопок.

2. Конструктивные характеристики

а) Предтопок (рис. VIII-13)

Количество предтопок $z_{пр}=3$.
 Диаметр (в свету, по образующим ошипованных труб) $D_{пр}=2180$ мм.
 Высота цилиндрической части $L_1=9,3$ м.
 Высота верхней конической части $L_2=0,7$ м.
 Относительная длина $L/D_{пр}=9,3/2,18=4,26$.
 Сечение $F_{пр}=0,785 \cdot 2,18^2=3,73$ м².
 Объем

$$V_{пр} = 0,785 \cdot 2,18^2 \cdot 9,3 + \frac{\pi \cdot 0,7}{3} \left[\left(\frac{2,18}{2} \right)^2 + \left(\frac{0,63}{2} \right)^2 + \frac{2,18}{2} \cdot \frac{0,63}{2} \right] = 35,9 \text{ м}^3.$$

Поверхность стен

$$F_{ст} = \pi \cdot 2,18 \cdot 9,3 + 0,785 \cdot 2,18^2 + \pi \cdot 1,04 \left(\frac{2,18}{2} + \frac{0,63}{2} \right) + 0,785 \cdot 0,63^2 = 72,33 \text{ м}^2.$$

Поверхность боковой стены, занятая соплом для воздуха,

$$F_{сопла} = 2,1 \cdot 0,49 = 1,03 \text{ м}^2.$$

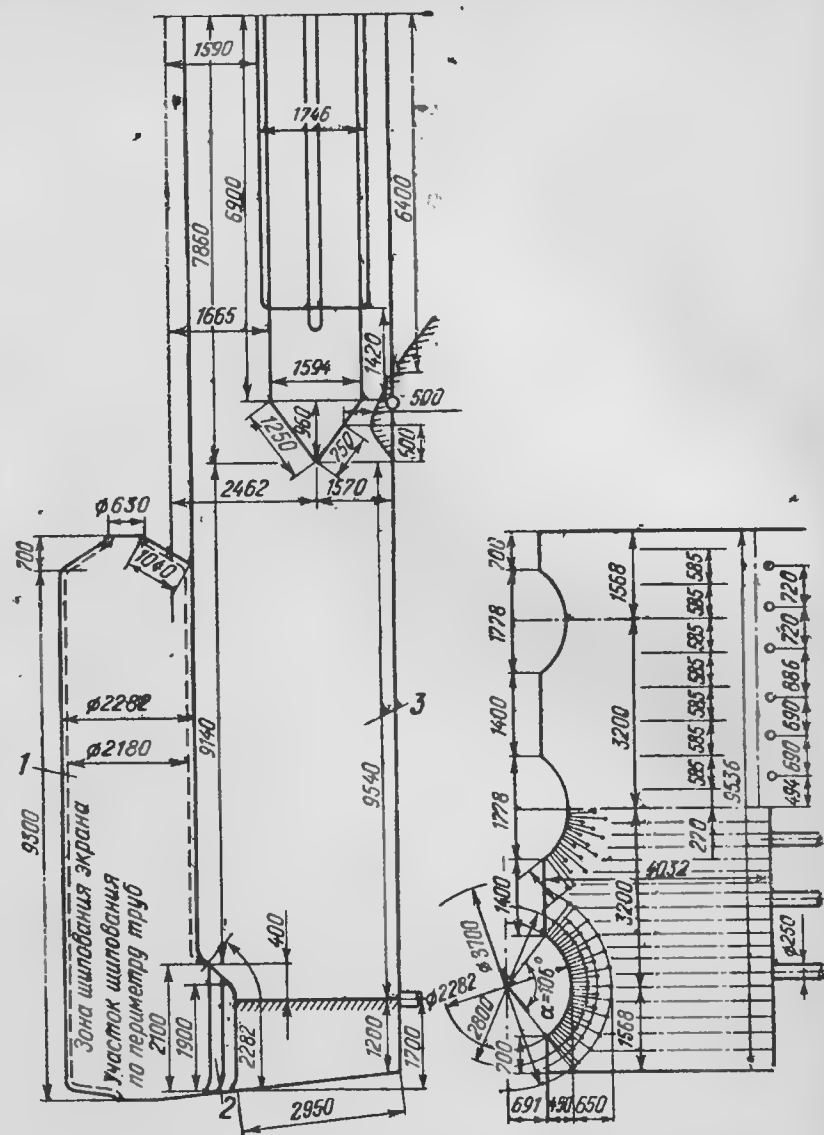


Рис. VIII-13. Эскиз двухкамерной топki котла производительностью 220 т/ч.

1 — предтопок; 2 — шлакоулавливающий пучок (образован из труб экрана предтопка); 3 — камера охлаждения.

Лучевоспринимающая поверхность

$$H_{л} = F_{ст} - F_{пода} - F_{гор} - F_{сопла} = 72,33 - 0,785 \cdot 2,18^2 - 0,785 \cdot 0,63^2 - 1,03 = 67,25 \text{ м}^2.$$

Предтопки образованы из труб диаметром 60×6 мм, установленных с шагом 64 мм. Обращенная к факелу поверхность ошипована. Шипы ($l_{ш}/d_{ш}=17/12$ мм/мм) из углеродистой стали, с плотностью шипования $f_{ш}=0,2$ м²/м², покрыты карборундовой футеровкой.

Для ошипованных экранов принимается $x=1$.

Коэффициент экранирования предтопка

$$x = \frac{H_{л}}{F_{ст}} = \frac{67,25}{72,33} = 0,93.$$

Эффективная толщина излучающего слоя пламени по формуле (6-05а)

$$s = 3,6 \frac{V_{пр}}{F_{ст}} = 3,6 \frac{35,9}{72,33} = 1,79 \text{ м}.$$

б) Шлакоулавливающий пучок (рис. VIII-13)

Внешний диаметр ошипованных труб $d_{тр}=100$ мм.

Число труб в пучке $n=32$.

Число рядов по ходу газов $z_2=3$.

Число труб в ряду $z_1=10; 10; 12$.

Средний поперечный шаг труб $s_1=315$ мм ($s_1/d=3,15$).

Продольный шаг труб $s_2=200$ мм ($s_2/d=2,0$).

Длины труб по рядам: $l_1=2,1$ м; $l_2=2,165$ м; $l_3=2,282$ м.

Поверхность нагрева

$$H=\pi 0,1 \cdot 2,1 \cdot 10 + \pi 0,1 \cdot 2,167 \cdot 10 + \pi 0,1 \cdot 2,282 \cdot 12 = 22 \text{ м}^2.$$

Сечение для прохода газов

$$F_{\text{г}} = \frac{2,8 + 3,7}{2} \pi \frac{106}{360} \cdot 2,1 - 10 \cdot 0,1 \cdot 2,1 = 4,21 \text{ м}^2.$$

Эффективная толщина излучающего слоя по формуле (7-54)

$$s = 0,9d \left(\frac{4}{\pi} \frac{s_1 s_2}{d^2} - 1 \right) = 0,9 \cdot 0,1 \left(\frac{4}{\pi} 3,15 \cdot 2,0 - 1 \right) = 0,632 \text{ м}.$$

в) Камера охлаждения (рис. VIII-13)

Нижняя часть камеры — ошипованная; высота ошипованной задней стенки (до оси сбросных сопел) $h_{\text{ош}}=1,2$ м.

Поверхность ошипованной части камеры
Задняя стена

$$F_{\text{ош ст.з}} = 1,2 \cdot 9,536 = 11,45 \text{ м}^2.$$

Под

$$F_{\text{ст.пода}} = 2,95 \cdot 9,536 + 2 \frac{1,568 \cdot 0,65}{2} + 2 \frac{3,2 \cdot 0,65}{2} + 2 \frac{1,4 \cdot 0,45}{2} + 2 \frac{0,7 \cdot 0,45}{2} = 32,14 \text{ м}^2.$$

Боковая стена

$$F_{\text{ош ст.бок}} = \frac{1,7 + 1,2}{2} 4,032 = 5,85 \text{ м}^2.$$

Простенки между циклонами

$$F_{\text{ст.пр.ц}} = 2 \cdot 1,4 \cdot 2,1 = 5,87 \text{ м}^2.$$

Простенки между боковой стеной и циклонами

$$F_{\text{ст.бок.ц}} = 2 \cdot 0,7 \cdot 2,1 = 2,94 \text{ м}^2.$$

Плоскость, проходящая через последний ряд шлакоулавливающего пучка,

$$F_{\text{ст.шл.п}} = 3\pi \cdot 3,7 \cdot 2,282 \frac{106}{360} = 23,4 \text{ м}^2.$$

Плоскости, ограничивающие шлакоулавливающие пучки с боковых сторон,

$$F_{\text{ст.шл.бок}} = 6 \frac{2,1 + 1,9}{2} 0,7 = 8,4 \text{ м}^2.$$

Суммарная поверхность стен ошипованной части камеры

$$F_{\text{ст.ош}} = F_{\text{ст.з}} + F_{\text{ст.пода}} + 2F_{\text{ош ст.бок}} + F_{\text{ст.пр.ц}} + F_{\text{ст.бок.ц}} + F_{\text{ст.шл.п}} + F_{\text{ст.шл.бок}} = 11,45 + 32,14 + 2 \cdot 5,85 + 5,87 + 2,94 + 23,4 + 8,4 = 95,9 \text{ м}^2.$$

Поверхность неошипованной части камеры

Задняя стена

$$F_{\text{ст.з}} = (9,54 + 0,6) 9,536 = 96,6 \text{ м}^2.$$

Длина фронтовой стены

$$l_{\text{фр}} = 2 \cdot 0,7 + 2 \cdot 1,4 + 3 \frac{\pi \cdot 2,282 \cdot 106}{360} = 10,53 \text{ м}.$$

$$F_{\text{ст.фр}} = (9,14 + 7,86) 10,53 = 179 \text{ м}^2.$$

Ширмы

$$F_{\text{ст.ш}} = (0,5 + 0,75 + 1,25 + 6,9) 9,536 = 89,6 \text{ м}^2.$$

Потолок

$$F_{\text{ст.пот}} = 1,59 \cdot 9,536 - 3 \left(0,785 \cdot 2,282^2 \frac{106}{360} - \frac{1,778 \cdot 0,691}{2} \right) = 13,4 \text{ м}^2.$$

Боковая стена

$$F_{\text{ст.бок.н}} = 9,54 \cdot 4,032 + \frac{0,5 + 1,57}{2} 0,6 + \frac{1,665 + 2,462}{2} 0,96 + (1,08 + 0,34) 1,665 + 5,48 \cdot 1,59 = 52,19 \text{ м}^2.$$

Суммарная поверхность стен неошипованной части камеры

$$F_{\text{ст.н}} = F_{\text{ст.з}} + F_{\text{ст.фр}} + F_{\text{ст.ш}} + F_{\text{ст.пот}} + 2F_{\text{ст.бок.н}} = 96,6 + 179 + 89,6 + 13,4 + 2 \cdot 52,19 = 483 \text{ м}^2.$$

Полная поверхность стен камеры охлаждения

$$\Sigma F_{\text{ст}} = F_{\text{ст.ош}} + F_{\text{ст.н}} = 95,9 + 483 = 578,9 \text{ м}^2.$$

Диаметр экранных труб $d=60$ мм.

Шаг труб $s=64$ мм ($s/d=64/60=1,07$).

Относительное расстояние труб до стены $e/d=30/60=0,5$.

Угловой коэффициент $x=0,98$ (номограмма 1).

Лучевоспринимающая поверхность неошипованных экранов

$$H_{\text{л.гл}} = x(F_{\text{ст.з}} + F_{\text{ст.фр}} + F_{\text{ст.пот}} + 2F_{\text{ст.бок.н}}) = 0,98(96,6 + 179 + 13,4 + 2 \cdot 52,19) = 385 \text{ м}^2.$$

Лучевоспринимающая поверхность ширм

$$H_{\text{л.ш}} = xF_{\text{ст.ш}} = 1,0 \cdot 89,6 = 89,6 \text{ м}^2.$$

Лучевоспринимающая поверхность ошипованной части камеры

$$H_{\text{л.ош}} = xF_{\text{ст.ош}} = 1,0 \cdot 95,9 = 95,9 \text{ м}^2.$$

Поскольку суммарная площадь сбросных горелок меньше 1 м^2 , она не вычитается из лучистой поверхности камеры.

Суммарная лучевоспринимающая поверхность камеры

$$H_{\text{л}} = 385 + 89,6 + 95,9 = 570,5 \text{ м}^2.$$

Степень экранирования топki

$$x = \frac{H_{\text{л}}}{F_{\text{ст}}} = \frac{570,5}{578,9} = 0,985.$$

Объем камеры охлаждения

Объем прямоугольной камеры (без вычета объема части предтопок, находящихся в камере охлаждения, и шлакоулавливающего пучка)

$$V_{\text{п}} = (F_{\text{ст.бок.н}} + F_{\text{ош ст.бок}}) 9,536 = (52,19 + 5,85) 9,536 = 553 \text{ м}^3.$$

Объем шлакоулавливающего пучка

$$V_{\text{шл.п}} = 0,785 (3,7^2 - 2,282^2) \frac{106}{360} \frac{1,9 + 2,1}{2} = 3,93 \text{ м}^3.$$

Объем части предтопок, находящихся в камере охлаждения

$$V'_{\text{пр}} = 0,785 \cdot 2,282^2 \frac{106}{360} \frac{1,778 \cdot 0,691}{2} = 0,588 \text{ м}^3.$$

Объем камеры охлаждения

$$V = V_{\text{п}} - 3V_{\text{шл.п}} - 3V'_{\text{пр}} = 553 - 3 \cdot 3,93 - 3 \cdot 0,588 = 539,4 \text{ м}^3.$$

Эффективная толщина излучающего слоя по формуле (6-05а)

$$s = 3,6 \frac{V}{\Sigma F_{\text{ст}}} = 3,6 \frac{539,4}{578,9} = 3,35 \text{ м}.$$

3. Топливо

Ангренинский уголь марки Б2
Расчетный состав сырого топлива (см. табл. I):

Влага W^p	= 34,5%
Зола A^p	= 13,1%
Сера $S^p_{\text{ор+к}}$	= 1,3%
Углерод C^p	= 39,8%
Водород H^p	= 2,0%
Азот N^p	= 0,2%
Кислород O^p	= 9,1%
	100%

Теплота сгорания сырого топлива $Q^p_{\text{н}} = 3320 \text{ ккал/кг}$.

Выход летучих на горючую массу $V^p = 33,5\%$.

Температура истинно жидкого состояния шлака $t_0 = 1150^\circ\text{C}$.

Вязкость шлака при t_0 $\mu_0 = 1,87 \text{ кгс} \cdot \text{сек/м}^2$.

Расчетный состав подсушенного топлива:

По заданию $W^n = 16\%$.

Множитель для пересчета состава топлива при влажности $W^n = 16\%$:

$$\frac{100 - W^n}{100 - W^p} = \frac{100 - 16}{100 - 34,5} = 1,283.$$

$$\text{Зола } A^p_c = 13,1 \cdot 1,283 = 16,8\%$$

$$\text{Сера } S^p_c = 1,3 \cdot 1,283 = 1,6\%$$

$$\text{Углерод } C^p_c = 39,8 \cdot 1,283 = 51,0\%$$

$$\text{Водород } H^p_c = 2,0 \cdot 1,283 = 2,6\%$$

$$\text{Азот } N^p_c = 0,2 \cdot 1,283 = 0,3\%$$

$$\text{Кислород } O^p_c = 9,1 \cdot 1,283 = 11,7\%$$

$$W^n = 16\%$$

$$100\%$$

Теплота сгорания подсушенного топлива

$$Q^p_{\text{н.с}} = (Q^p_{\text{н}} + 6W^p) \frac{100 - W^n}{100 - W^p} - 6W^n = (3320 + 6 \cdot 34,5) \times \\ \times 1,283 - 6 \cdot 16,0 = 4424 \text{ ккал/кг}.$$

4. Коэффициенты избытка воздуха, объемы и энтальпии продуктов сгорания по газоходам

Коэффициент избытка воздуха в конце камеры охлаждения принимаем по табл. XIX

$$\alpha_{\text{т}} = 1,14.$$

Проверяем коэффициент избытка воздуха в горелках $\alpha_{\text{г}}$ (соответствует коэффициенту избытка воздуха

в предтопке на поданное топливо) по формуле (4-48)

$$\alpha_{\text{т}} = \frac{100 - q_4}{100\eta_{\text{ц}}} (\alpha_{\text{т}} - \Delta\alpha_{\text{т}}) - \frac{g_{\text{г.в}} + 1,5K_{\text{пр}}g_{\text{с.а}}}{\eta_{\text{ц}}L_0},$$

где $g_{\text{г.в}}$ — количество сушильного агента (воздушная составляющая) на 1 кг сырого топлива на входе в установку, $g_{\text{г.в}} = 0,26 \text{ кг/кг}$ из расчета пылеприготовления;

$g_{\text{с.а}}$ — количество сушильного агента (полное) на 1 кг сырого топлива на входе в установку, $g_{\text{с.а}} = 0,97 \text{ кг/кг}$ из расчета пылеприготовления;

$K_{\text{пр}}$ — присос холодного воздуха в долях от сушильного агента; на основании «Норм пылеприготовления», $K_{\text{пр}} = 0,4$;

$\eta_{\text{ц}}$ — к. п. д. циклона, $\eta_{\text{ц}} = 0,9$;

$q_4 = 0,2\%$ (принято по табл. XIX);

$\Delta\alpha_{\text{т}} = 0,03$ (для циклонной топки по табл. XVI);

$$L_0 = 1,293 V^0 = 1,293 \cdot 3,81 = 4,92 \text{ кг/кг};$$

$$\alpha_{\text{т}} = \frac{100 - 0,2}{100 \cdot 0,9} (1,14 - 0,03) - \frac{0,26 + 1,5 \cdot 0,4 \cdot 0,97}{0,9 \cdot 4,92} = 1,04.$$

Коэффициент избытка воздуха в предтопке на сгоревшее топливо

$$\alpha_{\text{пр}} = \frac{\alpha_{\text{т}}}{1 - \frac{q^{\text{пр}}_4}{100}} = \frac{1,04}{1 - \frac{2}{100}} = 1,06 \text{ (п. 6-33)}.$$

Объемы и энтальпии воздуха и продуктов сгорания в предтопке и шлакоулавливающем пучке рассчитываются по подсушенному топливу, для всех остальных газоходов — по сырому.

Так как состав сырого топлива принят табличный (табл. I), объемы и энтальпии для этого топлива принимаются по табл. XI и XIV:

$$V^0 = 3,81 \text{ м}^3/\text{кг}; V^0_{N_2} = 3,01 \text{ м}^3/\text{кг}; V^0_{RO_2} = 0,75 \text{ м}^3/\text{кг};$$

$$V^0_{H_2O} = 0,71 \text{ м}^3/\text{кг}; V^0_{\text{г}} = 4,47 \text{ м}^3/\text{кг}.$$

Для подсушенного топлива объемы пересчитываются по формулам (4-43) — (4-45), а энтальпии газов и воздуха — по (4-46) и (4-47).

Доля испаренной влаги

$$\Delta W = 0,01 \left(W^p - W^n \frac{100 - W^p}{100 - W^n} \right) = \\ = 0,01 \left(34,5 - 16 \frac{100 - 34,5}{100 - 16} \right) = 0,22 \text{ [формула (4-42)]}.$$

Теоретический объем воздуха подсушенного топлива по формуле (4-43)

$$V^0_{\text{с}} = V^0 \frac{1}{1 - \Delta W} = 3,81 \frac{1}{1 - 0,22} = 4,89 \text{ м}^3/\text{кг}.$$

Теоретический объем азота подсушенного топлива

$$V^0_{N_2, \text{с}} = V^0_{N_2} \frac{1}{1 - \Delta W} = 3,01 \frac{1}{1 - 0,22} = 3,86 \text{ м}^3/\text{кг}.$$

Объем трехатомных газов подсушенного топлива

$$V^0_{RO_2, \text{с}} = V^0_{RO_2} \frac{1}{1 - \Delta W} = 0,75 \frac{1}{1 - 0,22} = 0,963 \text{ м}^3/\text{кг}.$$

Теоретический объем водяных паров подсушенного топлива по формуле (4-45)

$$V_{H_2O,c}^0 = \frac{V_{H_2O}^0 - 1,24\Delta W}{1 - \Delta W} = \frac{0,71 - 1,24 \cdot 0,22}{1 - 0,22} = 0,56 \text{ м}^3/\text{кг}.$$

Минимальный объем продуктов сгорания

$$V_{r,c}^0 = V_{N_2,c}^0 + V_{RO_2,c}^0 + V_{H_2O,c}^0 = 3,86 + 0,963 + 0,56 = 5,383 \text{ м}^3/\text{кг}.$$

Далее подсчитываются характеристики продуктов сгорания по газоходам. Доля золы топлива в уносе принимается по табл. XIX: $a_{ун} = 0,2$.

Результаты расчетов объемов сводятся в табл. VIII-1, расчеты энтальпий приведены в табл. VIII-2.

Расчет теплового баланса агрегата опускается: $B = 43\,700 \text{ кг/ч}$; $B_p = 43\,600 \text{ кг/ч}$.

Таблица VIII-1

Объемы газов, объемные доли трехатомных газов, концентрация золы

Наименование величин и формула	Предтопок и шлакоулавливающий пучок	Камера охлаждения
Коэффициент избытка воздуха α	1,06	1,14
$(\alpha - 1) V^0$, м ³ /кг	0,293	0,534
$V_{H_2O} = V_{H_2O}^0 + 0,0161 (\alpha - 1) V^0$, м ³ /кг	0,565	0,719
$V_r = V_{RO_2} + V_{N_2}^0 + V_{H_2O} + (\alpha - 1) V^0$, м ³ /кг	5,681	5,013
$r_{RO_2} = \frac{V_{RO_2}}{V_r}$	0,17	0,15
$r_{H_2O} = \frac{V_{H_2O}}{V_r}$	0,1	0,143
$r_{п} = r_{RO_2} + r_{H_2O}$	0,27	0,293
$G_r = 1 - \frac{A_p}{100} + 1,306\alpha V^0$, кг/кг	7,592	6,529
$\mu_{зп} = \frac{A_p a_{ун}}{100 G_r}$, кг/кг	0,0133*	0,00401

* Для предтопка вместо $a_{ун}$ подставляется величина $\frac{1 + a_{ун}}{2}$ (п.6-08).

Таблица VIII-2

Энтальпии продуктов сгорания

ϑ , °C	$I_{г.}^0$ ккал/кг	$I_{в.}^0$ ккал/кг	$(с\vartheta)_{H_2O}$	$1,24\Delta W (с\vartheta)_{H_2O}$ $\Delta W = 0,22$	$I_{г.суш}^0 = \frac{I_{г.}^0 - 1,24\Delta W (с\vartheta)_{H_2O}}{1 - \Delta W}$ ккал/кг	$I_{в.суш}^0 = \frac{I_{в.}^0}{1 - \Delta W}$ ккал/кг	Сушенка		Сырое топливо	
							$I_{сум} = I_{г.суш}^0 + (\alpha - 1) I_{в.суш}^0$		$I = I_{г.}^0 + (\alpha - 1) I_{в.}^0$	
							$\alpha_{пр} = 1,06$		$\alpha_{т} = 1,14$	
							I	ΔI	I	ΔI
900	1 503	1 165	—	—	—	—	—	—	1 666	—
1 000	1 691	1 306	—	—	—	—	—	—	1 874	208
1 100	1 879	1 451	—	—	—	—	—	—	2 082	208
1 200	2 069	1 596	—	—	—	—	—	—	2 292	210
1 300	2 263	1 740	—	—	—	—	—	—	2 507	215
1 400	2 461	1 889	611	166,8	2 940	2 420	3 085	—	2 725	218
1 500	2 658	2 038	664	181	3 170	2 610	3 327	242	2 943	218
1 600	2 857	2 186	717	196	3 410	2 800	3 578	251	—	—
1 700	3 058	2 335	771	210,5	3 650	2 990	3 830	252	—	—
1 800	3 260	2 483	826	225	3 890	3 180	4 081	251	—	—
1 900	3 464	2 636	881	240,5	4 130	3 380	4 333	252	—	—
2 000	3 668	2 788	938	256	4 370	3 570	4 584	251	—	—
2 100	3 874	2 940	994	271	4 620	3 770	4 846	262	—	—
2 200	4 081	3 093	1051	286	4 870	3 960	5 108	262	—	—

Энтальпия золы не учитывается, так как $1\,000 \cdot \frac{a_{ун} A_p}{Q_H^p} = 1\,000 \cdot \frac{0,2 \cdot 13,1}{5\,320} = 0,79 < 6$.

5. Расчет предтопка (производится по подсушенному топливу)

Рассчитываемая величина	Обозначение	Размерность	Формула или обоснование	Расчет
Присос в пылеприготовительной установке в долях от теоретически необходимого воздуха	$\Delta\alpha_{пл}$	—	По табл. XVI	0,04
Температура горячего воздуха	$t_{г.в}$	°C	Принимается предварительно	320
Энтальпия горячего воздуха	$I_{г.в}^{0''}$	ккал/кг	$V_c^0 (c\theta)_B^{320^\circ}$	$4,89 \cdot 102,8 = 502$
Температура холодного воздуха	$t_{х.в}$	°C	По п. 5-03	30
Энтальпия холодного воздуха	$I_{х.в}^0$	ккал/кг	$V_c^0 (c\theta)_B^{30^\circ}$	$4,89 \cdot 9,48 = 46,4$
Тепло, вносимое в предтопок воздухом	$Q_{в.пр}$	"	$\left(\alpha_{пр} - \Delta\alpha_{пл} \frac{100 - q_4}{100 - q_{4пр}} \right) I_{г.в}^{0''} + \left(1,06 - 0,04 \cdot \frac{100 - 0,2}{100 - 2,0} \right) 502 +$ $+ \Delta\alpha_{пл} \frac{100 - q_4}{100 - q_{4пр}} I_{х.в}^0$ $+ 0,04 \cdot \frac{100 - 0,2}{100 - 2,0} \cdot 46,4 = 513,6$	
Теплоемкость рабочей массы топлива	$c_{тл}$	ккал/(кг·°C)	$\frac{W_p}{100} + c_{тл}^c \frac{100 - W_p}{100}$	$\frac{16}{100} + 0,29 \cdot \frac{100 - 16}{100} = 0,404$
Температура топлива	$t_{тл}$	°C	По п. 6-33	75
Физическое тепло топлива	$i_{тл}$	ккал/кг	$c_{тл} \cdot t_{тл}$ (п. 5-04)	$0,404 \cdot 75 = 30,3$
Потеря тепла от химической неполноты сгорания в предтопке	$q_{зпр}$	%	По табл. XIX	1,0
Потеря тепла от механического недожога в предтопке	$q_{4пр}$	%	По табл. XIX	2,0
Располагаемое тепло топлива	$Q_{рс}^p$	ккал/кг	$Q_{нс}^p + i_{тл}$	$4424 + 30,3 = 4454,3$
Полезное тепловыделение в предтопке	$Q_{т.пр}$	"	$Q_{рс}^p \frac{100 - q_{зпр} - q_{4пр} - q_{6пл}}{100 - q_{4пр}} +$ $+ Q_{в.пр} - Q_{в.вн}$	$4454,3 \cdot \frac{100 - 1,0 - 2,0 - 1,14}{100 - 2,0} +$ $+ 513,6 = 4873,9$
Теоретическая температура сгорания в предтопке	ϑ_a	°C	Определяется по таблице энтальпий для подсушенного топлива по $Q_{т.пр}$	2111
Температура газов за предтопком	$\vartheta_{пр}^{0''}$	°C	Задаемса предварительно	1550
Энтальпия газов за предтопком	$I_{пр}^{0''}$	ккал/кг	По таблице энтальпий для подсушенного топлива	3453
Средняя суммарная теплоемкость продуктов сгорания	$V_{ср}$	ккал/(кг·°C)	$\frac{Q_{т.пр} - I_{пр}^{0''}}{\vartheta_a - \vartheta_{пр}^{0''}}$	$\frac{4873,9 - 3453}{2111 - 1550} = 2,53$
Эффективная температура топочной среды (предварительное значение)	T_{ϕ}	K	$0,925 \sqrt{T_a T_{пр}^{0''}}$	$0,925 \sqrt{(2111 + 273)(1550 + 273)} = 1930$
Расход топлива на предтопок	$B_{пр}$	кг/ч	$\eta_{цикл} \frac{B}{z_{пр}} \frac{100 - W_p}{100 - W_{п}}$	$0,9 \cdot \frac{43700}{3} \cdot \frac{100 - 34,5}{100 - 16} = 10220$
Количество сгоревшего топлива в предтопке	$B_{р.пр}$	"	$B_{пр} \frac{100 - q_{4пр}}{100}$	$10220 \cdot \frac{100 - 2,0}{100} = 10010$
Количество введенной в предтопок золы	G_o	кг/сек	$\frac{B_{пр} \cdot A_p}{3600 \cdot 100}$ (п. 6-28)	$\frac{10220 \cdot 16,8}{3600 \cdot 100} = 0,476$
Доля золы топлива в шлаке	$a_{шл}$	—	$1 - a_{ун}$	$1 - 0,2 = 0,8$
Удельный вес шлака	$\rho_{шл}$	кг/м³	Полнения к формуле (6-56)	2400
Смоченный шлаком периметр предтопка	u	м	$\pi D_{пр}$	$\pi \cdot 2,18 = 6,85$
Критическая температура шлака	t_o	°C	По заданию	1150

Продолжение

Рассчитываемая величина	Обозначение	Размерность	Формула или обоснование	Расчет
Критическая вязкость шлака	μ_0	(кг·сек)/м ²	По заданию	1,87
Средняя расходная скорость газов в предтопке	w	м/сек	$\frac{B_{p.пр} V_r T_\phi}{3600 \cdot 273 F_{пр}}$	$\frac{10\,010 \cdot 5,681 \cdot 1\,930}{3\,600 \cdot 273 \cdot 3,73} = 30,0$
Безразмерный коэффициент	$P_{пл}$	—	По номограмме 8	5,0
Параметр	A	м	$\sqrt[3]{\frac{G_0 a_{пл} \mu_0}{\rho_{пл}^2 \mu P_{пл}}}$	$\sqrt[3]{\frac{0,476 \cdot 0,8 \cdot 1,87}{2\,400^2 \cdot 6,85 \cdot 5}} = 1,535 \cdot 10^{-3}$
Безразмерный перепад температур в шлаковой пленке	$\Delta_{пл}$	—	По номограмме 8	0,112
Температура наружного слоя пленки жидкого шлака	$t_{пл}$	°C	$\Delta_{пл} T_\phi + t_0$ (п.6-28)	$0,112 \cdot 1\,930 + 1\,150 = 1\,366$
Произведение	$P_{п}^S$	(м·кгс)/см ²	$r_{п}^S$	$0,27 \cdot 1,79 = 0,483$
Коэффициент ослабления лучей трехатомными газами	k_r	1/(м·кгс/см ²)	По номограмме 3 Определяется по температуре газов на выходе из предтопка	0,406
Коэффициент ослабления лучей золовыми частицами	$k_{зл}$	"	По номограмме 4, кривая I	8,1
Коэффициент ослабления лучей частицами кокса	$k_{кокс}$	"	По п. 6-08	1,0
Параметр	κ_1	—	По п. 6-08	0,5
Параметр	κ_2	—	По п. 6-08	0,4
Коэффициент ослабления лучей топочной средой	k	1/(м·кгс/см ²)	$k_r r_{п} + k_{зл} \kappa_{зл} + k_{кокс} \kappa_1 \kappa_2$	$0,406 \cdot 0,27 + 8,1 \cdot 0,0133 + 1,0 \cdot 0,5 \cdot 0,4 = 0,1096 + 0,108 + 0,2 = 0,4176$
Оптическая толщина газового слоя	ks	—	ks	$0,4176 \cdot 1,79 = 0,75$
Степень черноты факела	a_ϕ	—	По номограмме 2	0,53
Физическая поглощательная способность шлаковой пленки в предтопке	$a_{\phi.пл}$	—	По табл. 6-4	0,68
Эффективная поглощательная способность ошипованных экранов	$a_{л}^{ош}$	—	$a_{л}^{ош} = a_{\phi.пл}$ (п. 6-30)	0,68
Степень черноты камеры	a_k	—	$\frac{1}{\frac{1}{a_{п}} + \chi \left(\frac{1}{a_{\phi}} - 1 \right)}$	$\frac{1}{\frac{1}{0,68} + 0,93 \left(\frac{1}{0,53} - 1 \right)} = 0,436$
Коэффициент теплопроводности газов	λ	ккал/(м·ч·°C)	$\lambda_r M_\lambda$	$0,136 \cdot 0,985 = 0,134$
Коэффициент кинематической вязкости газов	ν	м ² /сек	$\nu_r M_\nu$	$294,5 \cdot 10^{-6} \cdot 0,995 = 293 \cdot 10^{-6}$
Скорость выхода вторичного воздуха в предтопках	w_2	м/сек	Из расчета горелки	75
Коэффициент теплоотдачи конвекцией в предтопке	α_k	ккал/(м ² ·ч·°C)	$3,4 w_2$	$3,4 \cdot 75 = 255$
Тепло, переданное конвекцией	Q_k	ккал/кг	$\frac{\alpha_k H_{п} (T_\phi - T_a)}{B_{p.пр}}$	$\frac{255 \cdot 67,25 [1\,930 - (1\,366 + 273)]}{10\,010} = 496$
Критерий, учитывающий конвективный теплообмен	f	—	$\frac{Q_k}{V c_{ср} (T_a - T''_r)}$	$\frac{496}{2,53 (2\,384 - 1\,823)} = 0,35$

Продолжение

Рассчитываемая величина	Обозначение	Размерность	Формула или обоснование	Расчет
Безразмерная температура	θ_a	—	$\frac{T_a}{T_a} \text{ (п. 6-32)}$	$\frac{1366+273}{2111+273} = 0,686$
Критерий Больцмана	Bo^*	—	$\frac{\varphi B_p V_{c_{cp}}}{4,9 \cdot 10^{-8} H_{\pi} T_a^3}$	$\frac{0,994 \cdot 10010 \cdot 2,53}{4,9 \cdot 10^{-8} \cdot 67,25 \cdot 2384^3} = 0,565$
Безразмерная температура газов в конце предтопка	θ_r	—	$0,686 \left\{ \sqrt{\left[\frac{Bo^* (1-f)}{a_k} \right]^2 + 2,92 \left[\frac{Bo^* (1-f)}{a_k} + \theta_3^4 \right] - \frac{Bo^* (1-f)}{a_k}} \right\}$	$0,686 \left\{ \sqrt{\left[\frac{0,565 (1-0,35)}{0,436} \right]^2 + 2,92 \left[\frac{0,565 (1-0,35)}{0,436} + 0,686^4 \right] - \frac{0,565 (1-0,35)}{0,436}} \right\} = 0,764$
Температура газов в конце предтопка	$T''_{пр}$ $\theta''_{пр}$	К °С	$\theta_r T_a$ $T''_{пр} - 273$	$0,764 \cdot 2384 = 1820$ $1820 - 273 = 1547$

Так как предварительно принятая температура газов за предтопком ($\sim 1550^\circ\text{C}$) отличается от полученной в результате расчета (1547°C) только на 3°C , ($< 50^\circ\text{C}$), $t_{пл}$ не пересчитывается и расчет считается законченным

Энтальпия газов в конце предтопка	$I''_{пр}$	ккал/кг	По таблице энтальпий для подсушенного топлива	3445
Количество тепла, воспринятого предтопком по балансу	$Q_{пл} + Q_k$	"	$\varphi (Q_{r, пр} - I''_{пр})$	$0,994 (4873,9 - 3445) = 1420$

6. Расчет шлакоулавливающего пучка (производится по подсушенному топливу)

Температура газов за пучком	θ''	°С	Задаемся	1505
Энтальпия газов за пучком	I''	ккал/кг	По таблице энтальпий для подсушенного топлива	3339,5
Средняя температура газов	$\theta_{ср}$	°С	$\frac{\theta' + \theta''}{2}$	$\frac{1547 + 1505}{2} = 1526$
Температура поверхности пленки жидкого шлака	$t_{пл}$	"	$t_{пл, предтопка} - 100^\circ\text{C}$	1266
Скорость газов в пучке	w	м/сек	$\frac{B_{р, пр} V_r (\theta_{ср} + 273)}{3600 F_r \cdot 273}$	$\frac{10010 \cdot 5,681 (1526 + 273)}{3600 \cdot 4,21 \cdot 273} = 24,7$
Коэффициент теплоотдачи конвекцией	α_k	ккал/(м ² ·ч·°С)	$C_z C_s C_{\phi} \times \alpha_n \cdot 2^{0,6}$	$0,85 \cdot 0,98 \cdot 0,98 \cdot 59,0 \cdot 1,515 = 72,9$
Произведение	$p_{пс}$	(м·кгс)/см ²	По номограмме 13, α_n при $w = 12,35$	0,27
Коэффициент ослабления лучей трехатомными газами	k_r	1/(м·кгс/см ²)	По номограмме 3	0,27 · 0,632 = 0,171
Коэффициент ослабления лучей золовыми частицами	$k_{зп}$	"	Определяется по средней температуре газов	0,727
Коэффициент ослабления лучей частицами кокса	$k_{кокс}$	"	По номограмме 4, кривая 1	8,2
Параметр	κ_1	—	По п. 6-08	1,0
Параметр	κ_2	—	То же	0,5
Коэффициент ослабления лучей в шлакоулавливающем пучке	k	1/(м·кгс/см ²)	$k_r r_{п} + k_{зп} r_{зп} + k_{кокс} \kappa_1 \kappa_2$	$0,727 \cdot 0,27 + 8,2 \cdot 0,0133 + 0,5 \cdot 0,4 = 0,196 + 0,109 + 0,2 = 0,505$

Продолжение

Рассчитываемая величина	Обозначение	Размерность	Формула или обоснование	Расчет
Оптическая толщина газового слоя	k_s	—	k_s	$0,505 \cdot 0,632 = 0,319$
Степень черноты газов	a	—	По номограмме 2	0,278
Степень черноты пленки жидкого шлака	a_s	—	Пояснения к формуле (7-49)	0,68
Коэффициент теплоотдачи излучением	$\alpha_{\text{л}}$	ккал/(м ² ·ч·°C)	$4,9 \cdot 10^{-8} \frac{a_s + 1}{2} \times$ $\times a T_{\text{ср}}^3 \frac{1 - \left(\frac{T_{\text{пл}}}{T_{\text{ср}}}\right)^4}{1 - \frac{T_{\text{пл}}}{T_{\text{ср}}}}$	$4,9 \cdot 10^{-8} \frac{0,68 + 1}{2} 0,278 \times$ $\times (1526 + 273)^3 \frac{1 - \left(\frac{1266 + 273}{1526 + 273}\right)^4}{1 - \frac{1266 + 273}{1526 + 273}} =$ $= 235$
Количество тепла, переданное в шлакоулавливающем пучке	$Q_{\text{ш.п}}$	ккал/кг	$\frac{(\alpha_{\text{к}} + \alpha_{\text{л}}) H (\vartheta_{\text{ср}} - t_{\text{пл}})}{B_{\text{р.пр}}}$	$\frac{(72,9 + 235) \cdot 22 \cdot (1526 - 1266)}{10010} =$ $= 108$
Количество тепла, отданное газами	$Q_{\text{б}}$	"	$\varphi (I' - I'')$	$0,994 (3445 - 3339,5) = 105,2$

Расхождение между $Q_{\text{ш.п}}$ и $Q_{\text{б}}$ — 2,5%, согласно п. 8-37 допустимое расхождение — 5%, поэтому расчет шлакоулавливающего пучка считается законченным.

7. Расчет камеры охлаждения (производится по сырому топливу¹)

Температура горячего воздуха	$t_{\text{г.в}}$	°C	Принята предварительно	320
Энтальпия горячего воздуха	$I_{\text{г.в}}^{0''}$	ккал/кг	По таблице энтальпий для сырого топлива	391
Температура холодного воздуха	$t_{\text{х.в}}$	°C	По п. 5-03	30
Энтальпия холодного воздуха	$I_{\text{х.в}}^0$	ккал/кг	По таблице энтальпий для сырого топлива	36
Присос в камеру охлаждения	$\Delta \alpha_{\text{т}}$	—	По табл. XVI	0,03
Присос в пылеприготовительной установке	$\Delta \alpha_{\text{пл}}$	—	То же	0,04
Тепло, вносимое в камеру воздухом	$Q_{\text{в}}$	ккал/кг	$(\alpha_{\text{т}} - \Delta \alpha_{\text{т}} - \Delta \alpha_{\text{пл}}) I_{\text{в}}^{0''} +$ $+ (\Delta \alpha_{\text{т}} + \Delta \alpha_{\text{пл}}) I_{\text{х.в}}^0$	$(1,14 - 0,03 - 0,04) 391 +$ $+ (0,03 + 0,04) \cdot 36 = 418 +$ $+ 2,5 = 420,5$
Количество тепла, воспринятого шлакоулавливающим пучком	$Q_{\text{ш.п}}$	ккал/кг	Из расчета шлакоулавливающего пучка по балансу	105,2
Физическое тепло топлива	$i_{\text{тл}}$	"	$c_{\text{тл}} t_{\text{тл}} = \left(\frac{W^{\text{р}}}{100} + \right.$ $\left. + c_{\text{тл}}^{\text{с}} \frac{100 - W^{\text{р}}}{100} \right) t_{\text{тл}}$ (п. 5-04)	$\left(\frac{34,5}{100} + 0,268 \cdot \frac{100 - 34,5}{100} \right) 20 =$ $= 10,4$
Располагаемое тепло топлива	$Q_{\text{р}}^{\text{р}}$	"	$Q_{\text{н}}^{\text{р}} + i_{\text{тл}}$	$3320 + 10,4 = 3330$
Энтальпия газов на входе в камеру охлаждения	I'	"	$Q_{\text{р}}^{\text{р}} \frac{100 - q_3 - q_4 - q_{\text{б.пл}}}{100 - q_4} + Q_{\text{в}} -$ $- \frac{B_{\text{р.пр}} (Q_{\text{л}} + Q_{\text{к}})_{\text{пр}}}{\varphi B_{\text{р}}} Z_{\text{пр}} -$ $- \frac{Z_{\text{пр}} B_{\text{р.пр}} Q_{\text{ш.п}}}{\varphi B_{\text{р}}}$	$3330 \cdot \frac{100 - 0 - 0,2 - 1,14}{100 - 0,2} +$ $+ 420,5 - \frac{10010 \cdot 1420,3}{0,994 \cdot 43600} -$ $- \frac{3 \cdot 10010 \cdot 105,2}{0,994 \cdot 43600} = 2652$
Температура газов на входе в камеру охлаждения	ϑ'	°C	По таблице энтальпий для сырого топлива по I' при $\alpha_{\text{т}} = 1,14$	1367

¹ Все последующие поверхности котельного агрегата также рассчитываются по сырому топливу.

Продолжение

Рассчитываемая величина	Обозначение	Размерность	Формула или обоснование	Расчет
Коэффициент загрязнения открытых гладкотрубных экранов	$\epsilon_{\text{гл}}$	$(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C})/\text{ккал}$	По табл. 6-3	0,004
Коэффициент загрязнения ошипованных экранов	$\epsilon_{\text{ош}}$	"	По табл. 6-3	0,008
Усредненный коэффициент загрязнения	$\epsilon_{\text{ср}}$	"	$0,75 \frac{H_{\text{л}}^{\text{ош}}}{H_{\text{л}}} \cdot \epsilon_{\text{ош}} +$ $+ (1 - 0,75 \frac{H_{\text{л}}^{\text{ош}}}{H_{\text{л}}}) \epsilon_{\text{гл}}$	$0,75 \frac{95,9}{570,5} \cdot 0,008 + (1 -$ $- 0,75 \frac{95,9}{570,5}) \cdot 0,004 =$ $= 0,00451$
Температура газов на выходе из камеры охлаждения	$\vartheta''_{\text{г}}$	$^\circ\text{C}$	Принимаем предварительно	1 000
Энтальпия газов на выходе из камеры	$I''_{\text{г}}$	ккал/кг	По таблице энтальпий при $\alpha_{\text{г}} = 1,14$	1 874
Произведение Коэффициент ослабления лучей трехатомными газами	$p_{\text{г}}^S$ $k_{\text{г}}$	$(\text{м} \cdot \text{кгс})/\text{см}^2$ $1/(\text{м} \cdot \text{кгс}/\text{см}^2)$	$r_{\text{г}}^S$ По номограмме 3 По температуре на выходе из камеры охлаждения	$0,293 \cdot 3,35 = 0,98$ 0,49
Коэффициент ослабления лучей золовыми частицами	$k_{\text{зл}}$	$1/(\text{м} \cdot \text{кгс}/\text{см}^2)$	По номограмме 4, кривая 1	10,3
Коэффициент ослабления лучей частицами кокса	$k_{\text{кокс}}$	"	По п. 6-08	1,0
Параметр	κ_1	—	То же	0,5
Параметр	κ_2	—	$\frac{q'_4 + q''_4}{200}$	$\frac{2+0,2}{200} = 0,011$
Коэффициент ослабления лучей в камере охлаждения	k	$1/(\text{м} \cdot \text{кгс}/\text{см}^2)$	$k_{\text{г}} r_{\text{г}} + k_{\text{зл}} \kappa_{\text{зл}} + k_{\text{кокс}} \kappa_1 \kappa_2$	$0,49 \cdot 0,293 + 10,3 \cdot 0,00401 +$ $+ 1,0 \cdot 0,5 \cdot 0,011 =$ $= 0,1435 + 0,0413 + 0,0055 =$ $= 0,1878$ $0,1878 \cdot 3,35 = 0,63$
Оптическая толщина газового слоя	ks	—	ks	
Степень черноты факела	$a_{\text{ф}}$	—	По номограмме 2	0,47
Физическая поглощательная способность гладкотрубных экранов	$a_{\text{ф.л}}^{\text{гл}}$	—	По табл. 6-4	0,75
Физическая поглощательная способность ошипованных экранов	$a_{\text{ф.л}}^{\text{ош}}$	—	По табл. 6-4	0,68
Поглощательная способность гладкотрубных экранов	$a_{\text{л}}^{\text{гл}}$	—	По номограмме 9, кривая 2	0,79
Поглощательная способность ошипованных экранов	$a_{\text{л}}^{\text{ош}}$	—	$a_{\text{л}}^{\text{ош}} = a_{\text{ф.л}}^{\text{ош}}$ (п. 6-30)	0,68
Коэффициент, учитывающий взаимный теплообмен между толпой и ширмовым перегревателем	β	—	По рис. 6-4	1,0
Поглощательная способность ширм	$a_{\text{л}}^{\text{ш}}$	—	$\beta a_{\text{л}}^{\text{гл}}$	$1,0 \cdot 0,79 = 0,79$
Средневзвешенная эффективная поглощательная способность	$a_{\text{л}}$	—	$\frac{\sum a_{\text{л}i} H_{\text{л}i}}{H_{\text{л}}}$	$\frac{0,68 \cdot 95,9 + 0,79 \cdot 89,6 + 0,79 \cdot 385}{570,5} =$ $= 0,78$

Продолжение

Рассчитываемая величина	Обозначение	Размерность	Формула или обоснование	Расчет
Приведенная степень черноты камеры	a_k	—	$\frac{1}{\frac{1}{a_{\pi}} + \chi \left(\frac{1}{a_{\phi}} - 1 \right)}$	$\frac{1}{\frac{1}{0,78} + 0,985 \cdot \left(\frac{1}{0,47} - 1 \right)} =$
Средняя температура пара в ширмах	$t_{ср.ш}$	°C	Принимаем предварительно	$= 0,419$ 420
Температура внутренней среды в экранах	$t_{ср}^{экp}$	"	По заданию	318
Средняя температура внутренней среды в камере охлаждения	$t_{ср}$	"	$\frac{t_{ср.ш} H_{\pi}^{ш} + t_{ср}^{экp} H_{\pi}^{экp}}{H_{\pi}}$	$\frac{420 \cdot 89,6 + 318 \cdot 480,9}{570,5} = 335$
Тепло, переданное излучением	Q_{π}	ккал/кг	$\varphi (I_{\pi} - I''_{\pi})$	$0,994 (2\,652 - 1\,874) = 774$
Температура наружного слоя стен камеры охлаждения	T_3	K	$T_{ср} + \epsilon_{ср} \frac{B_p Q_{\pi}}{H_{\pi}}$	$\frac{(335 + 273) + 0,00451 \times 43\,600 \cdot 774}{570,5} = 608 + 265 =$ $= 873$
Безразмерная температура	θ_3	—	$\frac{T_3}{T'} \text{ (п. 6-32)}$	$\frac{873}{1\,367 + 273} = 0,532$
Средняя суммарная теплоемкость продуктов сгорания в камере охлаждения	$V_{ср}$	ккал/(кг·°C)	$\frac{I' - I''_{\pi}}{\theta' - \theta''_{\pi}}$	$\frac{2\,652 - 1\,874}{1\,367 - 1\,000} = 2,12$
Критерий Больцмана	Bo^*	—	$\frac{\varphi B_p V_{ср}}{4,9 \cdot 10^{-8} H_{\pi} (T')^3}$	$\frac{0,994 \cdot 43\,600 \cdot 2,12}{4,9 \cdot 10^{-8} \cdot 570,5 (1\,367 + 273)^3} =$ $= 0,745$
Коэффициент	A	—	$0,825 \frac{Bo^*}{a_k}$	$0,825 \cdot \frac{0,745}{0,419} = 1,467$
Коэффициент	C	—	(п. 6-32) $0,825 \theta_3^4$	$0,825 \cdot 0,532^4 = 0,066$
Безразмерная температура	θ''_{π}	—	(п. 6-32)	0,791
Температура газов в конце камеры охлаждения	θ''_{π}	°C	По номограмме 10 $\theta''_{\pi} T_a - 273$	$0,791 \cdot 1640 - 273 = 1\,024$
Поскольку разница между принятой предварительно температурой газов в конце камеры (1 000 °C) и полученной в результате расчета (1 024 °C) не превышает 50 °C, расчет считается законченным (п. 8-11)				
Энтальпия газов в конце камеры охлаждения	I''_{π}	ккал/кг	По табл. энтальпий (VIII-2)	1 924
Количество тепла, воспринятое радиационными поверхностями в камере охлаждения	Q_{π}	"	$\varphi (I_{\pi} - I''_{\pi})$	$0,994 (2\,652 - 1\,924) = 723$
Тепловое напряжение поверхностей в камере охлаждения	q_{π}	ккал/(м²·ч)	$\frac{B_p Q_{\pi}}{H_{\pi}}$	$\frac{43\,600 \cdot 723}{570,5} = 55\,400$

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПОВЕРОЧНОГО ТЕПЛОВОГО РАСЧЕТА

ПРИЛОЖЕНИЕ IX

А. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1. Приведенные ниже рекомендации предназначены для выполнения поверочных тепловых расчетов котельных агрегатов на электронных цифровых вычислительных машинах (ЭВМ). Наиболее целесообразна следующая техническая характеристика ЭВМ:

Скорость выполнения арифметических и логических операций
Емкость внутреннего быстродействующего оперативного запоминающего устройства (ОЗУ)
Емкость внешних запоминающих устройств

Десятки тысяч в секунду
Несколько тысяч слов
Десятки тысяч слов

Скорость ввода информации	Сотни слов в минуту
Скорость вывода информации на алфавитно-цифровое печатающее устройство	Сотни слов в минуту

При указанной технической характеристике ЭВМ машинное время теплового расчета современного котельного агрегата не превысит десяти минут.

Предъявленным требованиям отвечают современные ЭВМ типа М-20 (М-220, БЭСМ-4 и их модификации), «Минск» («Минск-32») и другие машины среднего класса.

При тепловом расчете котлов малой и средней мощности можно использовать ЭВМ более низкого класса.

2. Решение математической задачи на ЭВМ сводится к выполнению в определенной последовательности арифметических и логических операций. Совокупность кодов (команд), реализующих эту последовательность, называют программой. Программу решения рассматриваемой задачи на перечисленных выше ЭВМ рекомендуется составлять в кодах машин или в автокоде.

Ввиду большого массива информации программа должна быть расчленена на блоки, имеющие конкретное целевое назначение (например, вычисление коэффициента теплопередачи).

3. Поверочный тепловой расчет котельного агрегата представляет собой сложную математическую задачу, заключающуюся в составлении и решении системы нелинейных алгебраических уравнений высокого порядка. Для составления и решения этой системы необходимы значительные массивы исходной информации, характеризующей котельный агрегат в целом, а также каждую из его поверхностей.

Конструктивный тепловой расчет котельного агрегата является еще более сложной проблемой, включающей решение задачи оптимизации. Эта задача в настоящее время может быть решена путем выполнения многовариантных поверочных расчетов, что требует значительных затрат машинного времени.

Б. МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ НА ЭВМ И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОГРАММИРОВАНИЮ

4. Теплообмен в каждой поверхности нагрева котлоагрегата может быть описан системой нелинейных алгебраических уравнений, выражающих зависимость выходных параметров от входных, т. е. для k -й поверхности нагрева уравнениями вида

$$\begin{cases} t''_k(i''_k) = t'_k(i'_k) + C_k \vartheta'_k(I'_k) + E_k; \\ \vartheta''_k(I''_k) = t'_k(i'_k) + D_k \vartheta'_k(I'_k) + F_k. \end{cases} \quad (\text{IX-1})$$

где C_k, D_k, E_k, F_k — коэффициенты, зависящие от исходных данных и искомых переменных.

Эти зависимости получаются путем аналитического решения системы дифференциальных уравнений теплообмена. Система уравнений вида

$$Q_6 = Q_7 \quad (\text{IX-2})$$

является частным случаем решения этой же системы дифференциальных уравнений.

Котлоагрегат, состоящий из n поверхностей нагрева, описывается с помощью n систем вида (IX-1) или (IX-2), а также уравнения теплообмена в топке, уравнений смешения теплоносителей и уравнений для определения расходов теплоносителей.

С целью ускорения расчета целесообразно систему нелинейных алгебраических уравнений вида (IX-1) или

(IX-2) для каждой поверхности нагрева решать итеративными методами (простая итерация, метод хорд и т. д.). По полученным в результате значениям параметров сред на выходе и значениям на входе определяются коэффициенты C и D системы линейных алгебраических уравнений для каждой поверхности нагрева котлоагрегата:

$$\begin{cases} t''(i'') = t'(i') + C [t'(i') - \vartheta'(I')]; \\ \vartheta''(I'') = \vartheta'(I') + D [t'(i') - \vartheta'(I')]. \end{cases} \quad (\text{IX-3})$$

Таким образом, теплообмен в котлоагрегате описывается почти линейной системой алгебраических уравнений, которую на ЭВМ целесообразно решать методом Зейделя.

5. В ходе решения системы уравнений для каждой поверхности нагрева определяются теплофизические параметры теплоносителей, коэффициенты теплопередачи и другие необходимые для расчета величины.

Номограммы, графики и таблицы, рекомендуемые в настоящей книге, должны быть описаны с достаточной степенью точности аналитическими зависимостями. Если это вызывает трудности, должны быть составлены максимально компактные таблицы из значений соответствующих параметров в узловых точках, путем интерполяции (линейной, квадратичной или более высокой степени) которых можно получить с достаточной степенью точности промежуточные значения.

6. Ввиду отсутствия уравнений состояния для энтальпии воды и водяного пара, которые достаточно точно описывали бы области вблизи линии насыщения и максимума теплоемкости, рекомендуется табличное представление энтальпии.

Для определения удельных объемов воды и водяного пара также рекомендуется использовать таблицы. Кроме того, для этой цели могут быть использованы уравнения, приведенные в п. 7.

7. Удельный объем водяного пара описывается уравнением состояния Коха

$$v = \frac{RT}{100p} - \frac{A}{\left(\frac{T}{100}\right)^{2,82}} - p^2 \left[\frac{B}{\left(\frac{T}{100}\right)^{14}} + \frac{C}{\left(\frac{T}{100}\right)^{81,6}} \right],$$

где $R=0,4706$; $A=0,9172$; $B=1,31 \cdot 10^4$; $C=4,38 \cdot 10^{15}$; T — температура, К; p — давление, кгс/см².

Удельный объем воды описывается уравнением

$$v = (980 + 2820 \cdot 0,924^{0,14-60}) 10^{-6};$$

При сверхкритическом давлении

$$v = [(62,1 - 0,111p)i + (0,057p + 14,8)p - 21840] 10^{-6}.$$

8. Теплоемкость воды и водяного пара при $p = \text{const}$ определяется из равенства

$$c_p = \frac{\Delta i}{\Delta t}.$$

9. Теплоемкости компонентов дымовых газов и золы можно рассчитывать по интерполяционным полиномам пятой степени вида

$$c = a_5 t^5 + a_4 t^4 + a_3 t^3 + a_2 t^2 + a_1 t + a_0.$$

Значения коэффициентов a_0-5 получены путем аппроксимации табличных данных настоящей книги и приведены в табл. IX-1.

Таблица IX-1

Коэффициент полинома	c_{CO_2}	c_{N_2}	$c_{вз}$	c_{H_2O}	$c_{вл}$
a_0	0,038231419	0,30929091	0,31519196	0,35672260	0,17661723
a_1	$0,25207184 \cdot 10^{-3}$	$-0,53739164 \cdot 10^{-5}$	$0,35619473 \cdot 10^{-5}$	$0,24795243 \cdot 10^{-4}$	$0,17788785 \cdot 10^{-3}$
a_2	$-0,16633384 \cdot 10^{-6}$	$0,62620324 \cdot 10^{-7}$	$0,60760977 \cdot 10^{-7}$	$0,572072221 \cdot 10^{-7}$	$-0,26438212 \cdot 10^{-6}$
a_3	$0,76427112 \cdot 10^{-10}$	$-0,47710105 \cdot 10^{-10}$	$-0,51300306 \cdot 10^{-10}$	$-0,35393369 \cdot 10^{-10}$	$0,17199313 \cdot 10^{-9}$
a_4	$-0,20555466 \cdot 10^{-13}$	$0,15436120 \cdot 10^{-13}$	$0,17716406 \cdot 10^{-13}$	$0,91538884 \cdot 10^{-14}$	$-0,20249676 \cdot 10^{-13}$
a_5	$0,23407239 \cdot 10^{-17}$	$-0,18818960 \cdot 10^{-17}$	$-0,22616689 \cdot 10^{-17}$	$-0,92691428 \cdot 10^{-18}$	$-0,71330819 \cdot 10^{-17}$

10. Критерий Прандтля для дымовых газов вычисляется по формуле:

$$Pr^r = (0,94 + 0,56r_{H_2O}) Pr^{r_{cp}},$$

где при $100 \leq \vartheta \leq 400^\circ C$ $Pr^{r_{cp}} = 0,71 - 0,0002 \vartheta$;

$400 \leq \vartheta \leq 1000^\circ C$ $Pr^{r_{cp}} = 0,67 - 0,0001 \vartheta$;

$1000 \leq \vartheta \leq 2000^\circ C$ $Pr^{r_{cp}} = 0,68 - 0,0001 \vartheta$.

Для воздуха рекомендуется $Pr^v = 0,70$ при $t_v \geq 400^\circ C$ и $Pr^v = 0,69$ при $t_v < 400^\circ C$.

11. Расчет поправки C_ϕ к коэффициенту теплоотдачи конвекций от газов к стенке трубы:

для случая поперечного омыывания пучков

$$C_\phi = 0,92 + 0,726r_{H_2O};$$

для случая продольного омыывания при $r_{H_2O} \leq 0,11$

$$C_\phi = 0,910 + 0,819r_{H_2O};$$

при

$$r_{H_2O} > 0,11 \quad C_\phi = 0,94 + 0,545r_{H_2O}.$$

12. Поправки $C_{двн}$ и C_l для определения коэффициента теплоотдачи конвекцией можно рассчитывать по интерполяционным полиномам, коэффициенты которых приведены в табл. IX-2.

Таблица IX-2

Коэффициент полинома	$C_{двн}$	C_l
a_0	$0,13634932 \cdot 10^1$	$0,19120000 \cdot 10^1$
a_1	$-0,15974363 \cdot 10^{-1}$	$-0,65481352 \cdot 10^{-1}$
a_2	$0,19817016 \cdot 10^{-3}$	$0,16510489 \cdot 10^{-2}$
a_3	$-0,88189598 \cdot 10^{-6}$	$-0,14172494 \cdot 10^{-4}$
Степень полинома	3	3

13. Расчет теплопроводности и вязкости воды и водяного пара следует проводить по формулам, приведенным в книге М. П. Вукаловича, С. Л. Ривкина, А. А. Александрова «Таблицы теплофизических свойств воды и водяного пара» (М., «Стандарт», 1969).

14. Расчет теплопроводности и вязкости воздуха и дымовых газов производится с помощью интерполяционных полиномов, коэффициенты которых приведены в табл. IX-3.

15. Коэффициенты загрязнения, тепловой эффективности и использования поверхности нагрева могут определяться по интерполяционным формулам.

Коэффициент загрязнения ϵ ширмовых перегревателей для твердого топлива

$$\epsilon = b_1 + b_2(\vartheta_{cp} - b_3)$$

(значения коэффициентов приведены в табл. IX-4).

Коэффициенты загрязнения поперечно омываемых шахматных пучков определяются по формуле (7-73), причем

$$\epsilon_0 = 0,0126 \cdot 10^{-nw},$$

где w — скорость газов, м/сек;

$$n = 0,052 + 0,094(d/s_2)^{1/4}.$$

Поправка для коэффициента загрязнения в зависимости от диаметра труб:

$$C_d = \frac{\ln d}{0,7676} + 5,2606.$$

Значение $\Delta\epsilon$ должно быть задано в исходных данных.

Коэффициент тепловой эффективности

$$\psi = b_1 + b_2w$$

(значения коэффициентов приведены в табл. IX-5).

Таблица IX-3

Коэффициент полинома	ν воздуха	λ воздуха	ν дымовых газов	λ дымовых газов
a_0	$0,13334426 \cdot 10^{-4}$	$0,21049487 \cdot 10^{-1}$	$0,12223590 \cdot 10^{-4}$	$0,19640869 \cdot 10^{-1}$
a_1	$0,86303219 \cdot 10^{-7}$	$0,64300069 \cdot 10^{-4}$	$0,74345639 \cdot 10^{-7}$	$0,72610926 \cdot 10^{-4}$
a_2	$0,11379092 \cdot 10^{-9}$	$-0,22533805 \cdot 10^{-7}$	$0,11242939 \cdot 10^{-9}$	$0,14915302 \cdot 10^{-4}$
a_3	$-0,56219934 \cdot 10^{-13}$	$0,73307439 \cdot 10^{-11}$	$-0,40384652 \cdot 10^{-13}$	—
a_4	$0,23531342 \cdot 10^{-16}$	$-0,10448614 \cdot 10^{-14}$	$0,82038929 \cdot 10^{-17}$	—
Степень полинома	4	4	4	2

Таблица IX-4

Вид топлива	b_1	b_2	b_3
Нешлакующее, твердое	$0,3 \cdot 10^{-2}$	$0,5 \cdot 10^{-5}$	500
Канско-ачинские угли, фрезерный торф (при очистке)	$0,6 \cdot 10^{-2}$	$0,1 \cdot 10^{-4}$	500
Сланцы северо-западных месторождений	$-0,12 \cdot 10^{-1}$	$0,3 \cdot 10^{-4}$	-75
Умеренно шлакующее: при очистке	$0,76 \cdot 10^{-2}$	$0,817 \cdot 10^{-5}$	1 000
без очистки	$0,6 \cdot 10^{-2}$	$0,1 \cdot 10^{-4}$	500

Таблица IX-5

Вид поверхности нагрева	b_1	b_2
1-я ступень экономайзера, 2-я ступень экономайзера, переходная зона	0,725	-0,00625
Перегреватели, фестоны, котельные пучки при $w < 12$ м/сек	0,675	-0,00625
Экономайзеры котлов малой мощности ($t' \leq 100^\circ\text{C}$)	0,575	-0,00625

Примечание. Поправка к коэффициенту тепловой эффективности $\Delta\phi$, учитывающая влияние очистки и т. п., должна быть задана в исходных данных.

Коэффициент использования для ширмового перегревателя может рассчитываться по интерполяционному полиному третьей степени.

$$\xi = a_3 w^3 + a_2 w^2 + a_1 w + a_0,$$

где $a_3 = 0,65104168 \cdot 10^{-2}$; $a_2 = -0,10286459$; $a_1 = 0,53515626$; $a_0 = -0,59397324 \cdot 10^{-1}$; $\xi \leq 0,85$.

16. Расчет коэффициентов затененности ширм и прилегающих к ним экранов можно вести по следующим интерполяционным формулам:

$$\tau_A = \frac{A}{s_{\text{свб}}} \ln \frac{1}{1 - a_\phi};$$

$$\varphi_{\text{ш}} = \frac{1}{2\tau_A} \left[N_2(0) + N_2 \left(\tau_A \sqrt{1 + \left(\frac{S_1}{A} \right)^2} \right) - N_2 \left(\tau_A \frac{S_1}{A} \right) - N_2(\tau_A) \right];$$

$$\varphi_{\text{эк}} = \frac{1}{2\tau_A \frac{S_1}{A}} \left\{ \left(2\tau_A \sqrt{1 + \left(\frac{S_1}{A} \right)^2} - 2\tau_A \right) \times \right.$$

$$\times S_1(\tau_A) + \tau_A^2 \left(\frac{2}{\tau_A \sqrt{1 + \left(\frac{S_1}{A} \right)^2}} - \frac{2}{\tau_A} \right) [S_1(\tau_A) - M(\tau_A)] \Bigg\};$$

$$C_{\text{ш}} = \frac{1}{1 + \omega^{0,4}};$$

$$C_{\text{пр}} = 1 - 0,4\omega^{0,6}.$$

Табличные значения функций $M(x)$, $N_2(x)$ и $S_1(x)$ аппроксимированы полиномами, коэффициенты которых приведены в табл. IX-6—IX-8.

Таблица IX-6

Коэффициент для $M(x)$	x		
	0—3,5	3,5—7,0	7—8,5
a_6	$0,14442949 \cdot 10^{-2}$	$-0,27000661 \cdot 10^{-4}$	$-0,26874793 \cdot 10^{-8}$
a_5	$-0,19859426 \cdot 10^{-1}$	$0,88734287 \cdot 10^{-3}$	$0,12363315 \cdot 10^{-1}$
a_4	$0,11579441$	$-0,11838604 \cdot 10^{-1}$	$-0,23676412$
a_3	$-0,38633632$	$0,81269652 \cdot 10^{-1}$	$0,24159026 \cdot 10^1$
a_2	$0,84673329$	$-0,29691314$	$-0,13852435 \cdot 10^3$
a_1	$-0,12542358 \cdot 10^1$	$0,52274512$	$0,42315717 \cdot 10^3$
a_0	$0,99958884$	$-0,29792342$	$-0,53796469 \cdot 10^3$

Таблица IX-7

Коэффициент для $N_2(x)$	x		
	0—2,5	2,5—4,0	4—6,0
a_6	$0,14199129 \cdot 10^{-1}$	$-0,30099912 \cdot 10^{-3}$	$-0,23012082 \cdot 10^{-4}$
a_5	$-0,12742632$	$0,69808588 \cdot 10^{-2}$	$0,48305379 \cdot 10^{-3}$
a_4	$0,46652761$	$-0,65261650 \cdot 10^{-1}$	$-0,33438376 \cdot 10^{-2}$
a_3	$-0,91796218$	$0,31513686$	$0,37908044 \cdot 10^{-3}$
a_2	$0,11026482 \cdot 10^1$	$-0,82600937$	$0,56933997 \cdot 10^{-1}$
a_1	$-0,88305351$	$0,11005813 \cdot 10^1$	$-0,26044240$
a_0	$0,42328745$	$-0,56196043$	$0,34534971$

Таблица IX-8

Коэффициент для $S_1(x)$	x		
	0—2,5	2,5—4,0	4—7,5
a_6	$0,26239850 \cdot 10^{-1}$	$0,38656686 \cdot 10^{-1}$	$0,39797282 \cdot 10^{-4}$
a_5	$-0,23062472$	$-0,77219268$	$-0,14166301 \cdot 10^{-3}$
a_4	$0,83224633$	$0,64038741 \cdot 10^1$	$0,20880216 \cdot 10^{-1}$
a_3	$-0,16423898 \cdot 10^1$	$-0,28181188 \cdot 10^2$	$-0,16324244$
a_2	$0,20567300 \cdot 10^1$	$0,69509464 \cdot 10^3$	$0,71504373$
a_1	$-0,18205762 \cdot 10^1$	$-0,91102101 \cdot 10^2$	$-0,16685144 \cdot 10^1$
a_0	$0,99839124$	$0,49622349 \cdot 10^2$	$0,16285973 \cdot 10^1$

Таблица IX-9

Вид топлива	a_3	a_2	a_1	a_0
Твердое	$-0,174048170 \cdot 10^{-8}$	$0,40960372 \cdot 10^{-5}$	$-0,30671639 \cdot 10^{-2}$	$0,17101818 \cdot 10^1$
Жидкое	$0,12432012 \cdot 10^{-8}$	$-0,54405594 \cdot 10^{-5}$	$0,67891997 \cdot 10^{-2}$	$-0,17016783 \cdot 10^1$
Газ	$0,42735043 \cdot 10^{-9}$	$-0,23438228 \cdot 10^{-5}$	$0,30989899 \cdot 10^{-2}$	$-0,50325175$

Таблица IX-10

Тип поверхности нагрева		C	D	E	F	Примечание
Экономайзер и перегреватель	Прямоток	$C_{\text{прм}} = \frac{1}{1 + \frac{b}{a}} [1 - e^{-(a+b)}]$ $B_{\text{прм}} = \frac{1 - C_{\text{прм}} a}{1 + \frac{b}{a}}$ $A_{\text{прм}} = \frac{b}{a} B_{\text{прм}}$	$D_{\text{прм}} = \frac{b}{a} C_{\text{прм}}$	$E_{\text{прм}} = a_1 - B_{\text{прм}} \times (a_1 - b_1)$	$F_{\text{прм}} = b_1 + A_{\text{прм}} (a_1 - b_1)$	—
	Противоток, $a + b \geq \frac{1}{100}$	$C_{\text{прт}} = \frac{C_{\text{прм}}}{1 - C_{\text{прм}}}$	$D_{\text{прт}} = \frac{D_{\text{прм}}}{1 - C_{\text{прм}}}$	$E_{\text{прт}} = -\frac{E_{\text{прм}}}{1 - C_{\text{прм}}}$	$F_{\text{прт}} = F_{\text{прм}} - E_{\text{прм}} D_{\text{прт}}$	Сосчитать прямоток, изменив знак у a и a_1
	Противоток, $a + b < \frac{1}{100}$	$C_{\text{прт}} = a$ $B_{\text{прт}} = 1/2 C_{\text{прт}}$ $A_{\text{прт}} = -B_{\text{прт}}$	$D_{\text{прт}} = 1 - C_{\text{прт}}$	$E_{\text{прт}} = a_1 - B_{\text{прт}} (a_1 - b_1)$	$F_{\text{прт}} = b_1 + A_{\text{прт}} (a_1 - b_1)$	То же
Поверхность нагрева с температурой среды t_s		$C = \frac{a}{b} D$	$D = 1 - e^{-b}$	$E = a_1 + (a - c) \frac{b_1}{b}$	$F = D \frac{b_1}{b}$	—
Воздухоподогреватель	Однократный перекрест	$C^{(1)} = \frac{e^{-(a+b)}}{b} \sum_{k=0}^{\infty} \varphi_k(a) \varphi_k(b)$ Счет идет пока $e^{-(a+b)} \varphi_k(a) \varphi_k(b) < \frac{(ab)^{k+1}}{[(k+1)!]^2}$	$D^{(1)} = \frac{b}{a} C^{(1)}$	$E^1 = B_1 b_1$	$F^{(1)} = B_2 b_1$	$B_1 = e^{-(a+b)} \sum_{k=0}^{\infty} \varphi_k(a) \left[\varphi_k(b) - \frac{k+1}{b} \varphi_{k+1}(b) \right]$ $B_2 = b - \frac{b}{a} B_1$
	Многократный перекрест	$C = C^{(1)} \nu$ $S = \frac{n - \nu}{C^{(1)} + D^{(1)}}$ $\nu = \frac{1 - [1 - C^{(1)} - D^{(1)}]^n}{C^{(1)} + D^{(1)}}$	$D = D^{(1)} \nu$	$E = -C^{(1)} \times [E^{(1)} - F^{(1)}] S + n E^{(1)}$	$F = D^{(1)} [E^{(1)} - F^{(1)}] \times S + n F^{(1)}$	$\varphi_k(Z) = \sum_{m=k+1}^{\infty} \frac{1}{m!} Z^m = \varphi_{k+1}(Z) + \frac{Z^{k+1}}{(k+1)!}$

Расчет коэффициента β (п. 6-20), учитывающего взаимный теплообмен между топкой и ширмами, выполняется по аппроксимирующим полиномам для твердого, жидкого и газообразного топлив, коэффициенты которых приведены в табл. IX-9.

17. При составлении алгоритма расчета отдельной поверхности нагрева в соответствии с методикой, принятой в настоящей книге для «ручного» счета, должен быть предусмотрен расчет температурного напора для следующих схем взаимного направления теплообменивающихся сред:

1) прямоточная;

2) противоточная;

для этих схем Δt считается как среднеарифметическая (при $\Delta t_6/\Delta t_m < 1,7$) или среднелогарифмическая разность температур;

3) параллельно-смешанная с двумя ходами, имеющими одинаковую поверхность нагрева:

а) один ход — прямоточный, второй — противоточный

$$\Delta t = \Delta t_{\text{прт}} \frac{\frac{\sqrt{R^2+1}}{R-1} \ln \frac{1-p}{1-pR}}{\frac{2}{p-1-R+\sqrt{R^2+1}} \ln \frac{2}{p-1-R-\sqrt{R^2+1}}},$$

где

$$p = \frac{\tau_m}{\tau'_m - t'_m}; R = \tau_6/\tau_m$$

(τ_m, τ_6 — меньший и больший перепады температур по средам);

б) оба хода — противоточные

$$\Delta t = \Delta t_{\text{прт}} \frac{\ln \frac{1-p}{1-pR}}{2(R-1)\alpha},$$

где

$$\alpha = \frac{t'' - t'}{2\Delta t}; R = \tau_6/\tau_m;$$

$$p = \frac{2(1+e^\alpha)(1-e^{\alpha(1-2R)})}{(1+2e^\alpha)(R-e^{\alpha(1-2R)})+R+e^\alpha};$$

в) оба хода — прямоточные

$$p = \frac{2}{\frac{1+2R}{1-e^{-(2R+1)\alpha}} + \frac{1}{1+e^{-\alpha}}},$$

где α, R и Δt определяются, как в п. 17,б.

При перекрестном движении сред с числом ходов в теплообменнике от одного до четырех (при общем противотоке)

$$\Delta t = \Delta t_{\text{прт}} \psi.$$

Расчет параметра ψ при определении температурного напора в случае перекрестного движения сред рекомендуется определять путем решения уравнения

$$\psi = \frac{c}{\ln A_n - \ln(1-p_1R)}.$$

Здесь

$$p_1 = \frac{\left(\frac{1-p}{1-pR}\right)^{1/n} - 1}{R \left(1 - \frac{p}{1-pR}\right)^{1/n} - 1}$$

(n — число ходов в теплообменнике);

$$A_n = A_{n-1} + \varphi_n;$$

Здесь

$$A_0 = 1;$$

$$\varphi_1 = b\varphi'_1;$$

$$\varphi'_1 = \left(1 + \frac{1}{a} e^{-a} - \frac{1}{a}\right);$$

$$\varphi_2 = \frac{b^2}{2} \varphi'_2;$$

$$\varphi'_2 = \varphi'_1 + \left[\varphi'_1 + \frac{(e^{-a} - 1)}{1!}\right];$$

$$\vdots$$

$$\varphi_n = \frac{b^n}{n!} \varphi'_n;$$

$$\varphi'_n = \varphi'_{n-1} + (\varphi'_{n-1} - \varphi'_{n-2}) + \frac{a^{n-2}}{(n-1)!} e^{-a};$$

$$a = \frac{k}{\psi}, \text{ где } k = \ln \frac{1-p_1}{1-p_1R}; \quad b = aR; \quad c = kR.$$

Вычисление φ_n следует вести до тех пор, пока не будет достигнуто условие

$$\left| \frac{A_n - A_{n-1}}{A_n} \right| < 0,005.$$

Процесс вычислений ψ можно считать сходящимся, если на m -м шаге будет выполнено условие $|\psi_m - \psi_{m-1}| < 0,002$.

В качестве начального (нулевого) приближения может быть принято $\psi_0 = 0,75$.

18. Расчет отдельных поверхностей нагрева на ЭВМ может выполняться также методом интегральной линеаризации.

При составлении алгоритма расчета на ЭВМ отдельной поверхности нагрева в соответствии с методом интегральной линеаризации программа должна содержать расчет коэффициентов C, D, E, F системы уравнений (IX-1). Коэффициенты являются функциями от

$$a = \frac{kH}{DC_p}; \quad a_1 = \frac{B_p Q_n}{DC_p};$$

$$b = \frac{kH}{B_p C_r}; \quad b_1 = \frac{\Delta \alpha C_n V_0 \vartheta'' - \Delta \alpha I_{\text{прт}} + \frac{1}{\varphi} Q_n}{C_r}$$

и вида взаимного движения сред, а также типа поверхностей нагрева и представлены в табл. IX-10.

19. Расчет потери тепла в окружающую среду q_5 может производиться с помощью интерполяционного полинома третьей степени.

Коэффициенты полиномов, аппроксимирующих каждый из участков кривой, даны в табл. IX-11.

Таблица IX-11

Коэффициент для q_5	$D, \text{ м/ч}$		
	3—20	20—100	100—900
a_0	$0,46200103 \cdot 10^1$	$0,16996826 \cdot 10^1$	$0,81825397$
a_1	$-0,53576969$	$-0,23848966 \cdot 10^{-1}$	$-0,12802068 \cdot 10^{-2}$
a_2	$0,31406089 \cdot 10^{-1}$	$0,20064935 \cdot 10^{-3}$	$0,63997113 \cdot 10^{-6}$
a_3	$-0,64671482 \cdot 10^{-3}$	$-0,62289562 \cdot 10^{-6}$	$0,13468914 \cdot 10^{-9}$

Для $D \geq 900 \text{ м/ч}$ принято $q_5 = 0,2\%$.

20. В ходе расчета необходимо определять значение температур при известных значениях энтальпии (давления), т. е. решать уравнения неявного вида

$$t=f_1(i, p) \text{ или } \vartheta=f_2(I, \alpha, r).$$

Для решения этих уравнений рекомендуются методы поиска корней нелинейных алгебраических уравнений (методы хорд, касательной и половинного деления).

21. Основными блоками программы расчета являются следующие:

а) Блок стандартных подпрограмм, который осуществляет следующие функции: перевод из десятичной системы в двоичную и обратно, вычисление элементарных функций, расчет полиномов по схеме Горнера, интерполяции табличных данных, определение корней алгебраических уравнений.

б) Блок ввода в запоминающее устройство исходной информации и последующей ее обработки, т. е. рассылки исходной информации в конкретные ячейки запоминающего устройства. При этом автоматически производится перевод десятичных чисел в двоичный код. Ввиду ограниченности памяти ЭВМ целесообразно предусмотреть «сжатие» исходной информации, т. е. расположение нескольких чисел в зависимости от разрядности ЭВМ в одной ячейке оперативного запоминающего устройства (ОЗУ) машины.

в) Блок расчета расходов теплоносителей (расхода топлива, расходов на впрыск, рециркуляцию воздуха и газов).

г) Блок расчета физических параметров теплоносителей.

д) Блок расчета коэффициентов теплопередачи.

е) Блок расчета температурного напора или коэффициентов C, D, E, F .

ж) Блок решения системы уравнений котлоагрегата и выдачи результатов расчета на печать.

з) Блок определения тепловыделения в точке.

и) Блок позионного расчета точки.

к) Блок управления расчетом котлоагрегата. Функцией этого блока является обеспечение определенной последовательности работы всех вышеперечисленных блоков.

Часть программы, в которую входят блоки, многократно используемые в ходе расчета (блок стандартных подпрограмм, блок расчета физических параметров теплоносителей и др.), целесообразно в течение расчета постоянно хранить в ОЗУ. Остальные блоки могут размещаться во внешнем запоминающем устройстве и пересылаться в ОЗУ по мере надобности.

Таблицы термодинамических свойств воды и водяного пара, используемые в блоке определения физических параметров, в полном объеме могут быть размещены во внешних запоминающих устройствах. В ОЗУ лишь пересылается тот табличный материал, который необходим для расчета конкретного варианта. Целесообразно также постоянно хранить в ОЗУ исходные данные, непосредственно необходимые для расчета переменных величин.

22. В программу целесообразно включать упрощения, предусмотренные настоящим Нормативным методом для облегчения вычислительного процесса без изменения ЭВМ.

23. Тепловой расчет котлоагрегата на ЭВМ сводится в основном к следующим этапам:

подготовка исходной информации, т. е. заполнение таблиц с исходными данными и нанесение их на носитель информации ЭВМ (перфокарты, перфоленты и т. д.); размещение блоков программы в ОЗУ и во внешних запоминающих устройствах;

ввод исходной информации конкретного варианта в ОЗУ и во внешние запоминающие устройства;

проведение расчета на ЭВМ по разработанной программе и получение результатов расчета.

В. ОБЩАЯ РАСЧЕТНАЯ СХЕМА КОТЛОАГРЕГАТА

24. Расчетная схема должна содержать полную информацию о последовательности включения обогреваемых поверхностей и движении рабочих сред.

25. Котлоагрегат целесообразно представить как совокупность трактов греющих и обогреваемых сред.

Тракты обогреваемых сред состоят из последовательно соединенных по ходу обогреваемой среды поверхностей нагрева.

Тракт греющей среды можно представить в виде последовательно соединенных по ходу газов участков газохода, названных газовыми поверхностями. В каждом участке газохода (газовой поверхности) может размещаться несколько поверхностей обогреваемых трактов.

Г. ИСХОДНАЯ ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ ТЕПЛООВОГО РАСЧЕТА КОТЛОАГРЕГАТА НА ЭВМ

26. Исходную информацию целесообразно представить в табличной форме, максимально близкой к той, которой обычно пользуются конструкторы-расчетчики.

27. Информация классифицируется двояко:

числовая и логическая;

по котлу в целом и по конкретным поверхностям.

Числовая информация полностью соответствует исходной информации данного Нормативного метода.

Разработка методики задания логической информации представляет собой один из наиболее сложных и ответственных этапов составления программы.

Логическая информация представляет собой описание расчетной схемы котлоагрегата, а также характеризует каждую конкретную поверхность нагрева для выбора соответствующих способов определения физических параметров рабочих сред, характера теплообмена, коэффициентов теплоотдачи (тип поверхности, тип пучка, характер движения сред, характер теплообмена и т. д.).

28. Задание логической характеристики поверхностей целесообразно свести к построению таблицы признаков, в которой наличие того или иного признака из каждой поверхности как-то отмечается, например единицей.

В качестве информации о ходе рабочих сред рекомендуется, например, использовать порядковую нумерацию поверхностей в трактах.

29. Для выполнения вариантных расчетов одного и того же котла необходимо дополнительно предусмотреть достаточно простой способ внесения изменений в основную исходную информацию.

Д. ОБЪЕМ И ВИД ИНФОРМАЦИИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ РАСЧЕТА

30. В общий объем результирующей информации следует включить: расход топлива, к. п. д. котлоагрегата, скорректированные расходы теплоносителей по поверхностям, распределение температур (энтальпий) по трактам, скорости рабочих сред в поверхностях нагрева, коэффициенты теплоотдачи и загрязнения, тепло, воспринимаемое в топке.

31. Информация не должна требовать дополнительной расшифровки. Ее следует выдавать в компактной форме, в виде таблиц. При печати таблиц результирующей информации желательно словесное обозначение параметров.

РАСЧЕТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Республика, край, область	Бассейн, место- рождение	Марка топлива	Класс или про- дукт обогащения	Рабочая масса топлива							
				состав, %							
				W^p	A^p	S_K^p	S_{Op}^p	C^p	H^p	N^p	O^p
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Угли											
1. СССР, Донецкая, Луганская обл. и РСФСР, Ростовская обл.	Донецкий	Д	Р	13,0	21,8	1,5	1,5	49,3	3,6	1,0	8,3
2. То же	То же	Д	Отсев	14,0	25,8	2,5	1,4	44,8	3,4	1,0	7,1
3. " "	" "	Г	Р	8,0	23,0	2,0	1,2	55,2	3,8	1,0	5,8
4. " "	" "	Г	Отсев	11,0	26,7	1,9	1,2	49,2	3,4	1,0	5,6
5. " "	" "	Г	Промпродукт мокрого обога- щения	9,0	34,6	3,2		44,0	3,1	0,8	5,3
6. " "	" "	Т	Р	5,0	23,8	2,0	0,8	62,7	3,1	0,9	1,7
7. " "	" "	А	Ш, СШ	8,5	22,9	1,0	0,7	63,8	1,2	0,6	1,3
8. " "	" "	ПА	Р, отсев	5,0	20,9	1,7	0,7	66,6	2,6	1,0	1,5
9. " "	" "	Ж, К, ОС	Промпродукт мокрого обога- щения	9,0	35,5	1,9	0,6	45,5	2,9	0,9	3,7
10. РСФСР, Кемеров- ская обл.	Кузнецкий:	Д	Р, СШ	12,0	13,2	0,3		58,7	4,2	1,9	9,7
11. То же	То же	Г	Р, СШ	8,5	11,0	0,5		66,0	4,7	1,8	7,5
12. " "	" "	1СС	Р, отсев	9,0	18,2	0,3		61,5	3,7	1,5	5,8
13. " "	" "	2СС	Р, С, Ш, отсев	9,0	18,2	0,4		64,1	3,3	1,5	3,5
14. " "	" "	Т	Р, отсев	6,5	16,8	0,4		68,6	3,1	1,5	3,1
15. " "	" "	Ж, К, ОС	Промпродукт мокрого обога- щения	7,0	30,7	0,7		53,6	3,0	1,6	3,4
16. " "	Грамотеинский, Колмогоровский, Байдаевский углеразрезы	Г	Р, окисленный	14,0	9,5	0,5		59,5	4,0	1,5	11,0
17. " "	Кедровский, им. Вахруше- ва, Киселев- ский, № 8, Новосергеев- ский, Бачат- ский углераз- резы	1СС, 2СС	То же	10,0	11,3	0,5		67,7	3,6	1,6	5,3
18. " "	Красноброд- ский, Красно- горский, Лист- вянский угле- разрезы	Т	" "	10,0	16,2	0,3		65,7	3,0	1,7	3,1

ТВЕРДЫХ И ЖИДКИХ ТОПЛИВ

Таблица I

Низшая теплота сгорания, ккал/кг	Зольность на сухую массу, %	Максимальные			Влажность, гигроскопиче- ская, %	Приведенные		Выход лету- чих на горю- чую массу, %	Теплота сго- рания по бом- бе, ккал/кг
		влаж- ность, %	зольность, %	содержание серы, %		влажность, % 10 ³ кг/ккал	зольность, % 10 ³ кг/ккал		
Q_H^p	A^c	$W_{\text{макс}}^p$	$A_{\text{макс}}^p$	$S_{\text{макс}}^c$	$W_{\text{гн}}$	$W^{\text{п}}$	$A^{\text{п}}$	$V^{\text{г}}$	$Q_6^{\text{г}}$
13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
4 680	25,0	18,0	31,5	4,6	4,5	2,78	4,65	44,0 ¹	7 700
4 240	30,0	16,0	34,0	—	4,5	3,30	6,08	44,0	7 550 ¹
5 260	25,0	—	31,5	—	3,0	1,52	4,37	40,0 ¹	8 100
4 730	30,0	—	35,0	—	3,0	2,32	5,64	40,0	8 000
4 190	38,0	17,0	45,0	—	2,5	2,15	8,25	42,0	7 950 ¹
5 780	25,0	8,0	31,5	—	1,5	0,87	4,11	15,0 ¹	8 500 ¹
5 390	25,0	—	31,5	—	2,5	1,58	4,24	3,5 ¹	8 100 ¹
6 030	22,0	—	31,5	—	1,5	0,83	3,47	7,5 ¹	8 450 ¹
4 300	39,0	—	45,0	—	1,3	2,09	8,26	30,0 20,0—34,0	8 230 ¹
5 450	15,0	13,5	25,0	—	4,0	2,20	2,42	42,0	7 700 ¹
6 240	12,0	14,5	25,0	—	3,0	1,36	1,76	40,0	8 150 ¹
5 700	20,0	—	25,0	—	1,6	1,58	3,20	30,0 ¹	8 200 ¹
5 870	20,0	—	25,0	—	1,5	1,53	3,10	21,0 ¹	8 400 ¹
6 250	18,0	9,5	25,0	—	1,5	1,04	2,70	13,0 ¹	8 450
5 000	33,0	12,0	45,0	—	1,5	1,40	6,14	23,0 17—33,0	8 400
5 450	11,0	20,0	25,0	—	6,0	2,57	1,74	40,0	7 550 ¹
6 180	12,5	20,0	25,0	—	3,5	1,62	1,83	25,0	8 200 ¹
5 900	18,0	20,0	25,0	—	3,5	1,69	2,75	13,0	8 300 ¹

Республика, край, область	Бассейн, месторождение	Марка топлива	Класс или продукт обогащения	Температура плавкости золы, °С		
				начало деформации	начало размягчения	начало жидкоплавкого состояния
				t_1	t_2	t_3
1	2	3	4	23	24	25
Угли						
1. УССР, Донецкая, Луганская обл. и РСФСР, Ростовская обл.	Донецкий	Д	Р	1 000 940—1 260	1 200 1 080—1 400	1 280 1 160—1 400
2. То же	То же	Д	Отсев	1 100 1 000—1 200	1 250 1 200—1 380	1 350 1 250—1 450
3. " "	" "	Г	Р	1 050 1 000—1 200	1 200 1 100—1 300	1 280 1 200—1 400
4. " "	" "	Г	Отсев	1 180 1 000—1 200	1 240 1 200—1 380	1 280 1 250—1 450
5. " "	" "	Г	Промпродукт мокрого обогащения	1 000	1 200	1 280
6. " "	" "	Т	Р	1 060 990—1 170	1 200 1 050—1 300	1 250 1 100—1 400
7. " "	" "	А	Ш, СШ	1 100 920—1 260	1 200 1 100—1 450	1 250 1 150—>1 500
8. " "	" "	ПА	Р, отсев	1 060 1 000—1 120	1 250 1 100—>1 500	1 300 1 150—>1 500
9. " "	" "	Ж, К, ОС	Промпродукт мокрого обогащения	1 080—1 160	1 180—1 390	1 200—1 420
10. РСФСР, Кемеровская обл.	Кузнецкий:	Д	Р, СШ	1 130 1 030—1 260	1 200 1 050—1 300	1 250 1 100—1 400
11. То же	То же	Г	Р, СШ	1 100 1 050—1 250	1 200 1 000—1 370	1 250 1 150—1 430
12. " "	" "	1СС	Р, отсев	1 100—>1 500	1 240—>1 500	1 280—>1 500
13. " "	" "	2СС	Р, С, Ш, отсев	1 100—>1 500	1 240—>1 500	1 280—>1 500
14. " "	" "	Т	Р, отсев	1 250 1 070—1 380	1 300 1 090—1 500	1 400 1 210—1 600
15. " "	" "	Ж, К, ОС	Промпродукт мокрого обогащения	1 150	1 300	1 370
16. " "	Грамотеинский, Колмогоровский, Байдаевский угле-разрезы	Г	Р, окисленный	1 150 1 070—1 200	1 250 1 200—1 330	1 280 1 100—1 330
17. " "	Кедровский, им. Вахрушева, Киселевский, № 8, Новосергеевский, Бачатский угле-разрезы	1СС, 2СС	То же	1 350 1 100—>1 500	1 500 1 200—>1 500	1 550 1 300—>1 500
18. " "	Краснобродский, Красногорский, Листвянский угле-разрезы	Т	" "	1 330 1 180—>1 500	1 450 1 300—>1 500	1 480 1 310—>1 500

Продолжение табл.

Параметры истинно жидкого состояния		Параметры начала нормального жидкого шлакоудаления		Характеристика нелетучего остатка	Химический состав золы на бессульфатную массу, %							
$t_0, ^\circ\text{C}$	$\mu_0, (\text{кгс}\cdot\text{сек})/\text{м}^2$	$t_{\text{н.ж}}, ^\circ\text{C}$	$\mu_{\text{н.ж}}, (\text{кгс}\cdot\text{сек})/\text{м}^2$		SiO_2	Al_2O_3	TiO_2	Fe_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O
26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38
1 300	25	1 400	2,0	От порошкообразного до слабоспекшегося	52,7	25,7	1,0	14,1	2,0	0,9	2,6	1,0
1 350	25 20—>30	1 480	2,0	То же	52,0	24,0	0,8	14,0	2,8	1,6	4,0	0,8
1 300	30	1 400	2,0	Спекшийся	50,4	24,3	0,7	16,7	2,8	1,1	2,9	1,1
1 350	30—>40	1 460	2,0	То же	52,0	24,0	0,8	14,0	2,8	1,6	4,0	0,8
—	—	—	—	Слабоспекшийся	—	—	—	—	—	—	—	—
1 300	1,5	1 300	1,5	От порошкообразного до слабоспекшегося	40,0	26,5	—	22,0	8,0	2,0	1,5	—
1 280 1 200—1 350	10 6,0—25,0	1 450 1 350—1 550	2,0	Порошкообразный	52,0	22,0	—	15,0	4,0	2,0	3,5	1,5
—	—	—	—	То же	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	Спекшийся	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	То же	53,0	24,0	—	8,0	7,5	3,5	4,0	—
—	—	—	—	„ „	49,0	25,0	—	15,0	5,5	2,0	3,5	—
—	—	1 570—1 670	—	От порошкообразного до слабоспекшегося	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	1 570—1 670	—	От слабоспекшегося до спекшегося	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	1 570—1 670	—	От порошкообразного до спекшегося	55,0	25,0	0,8	12,0	3,5	1,0	2,7	—
—	—	—	—	От слабоспекшегося до спекшегося	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	Порошкообразный	48,0— 61,0	23,0— 28,0	—	6,5— 10,0	3,0— 12,0	1,0— 2,0	1,0— 4,0	—
1 600 1 400—1 650	0,6 0,2—1,0	1 600 1 500—1 670	0,6 0,2—1,5	То же	50,0— 58,0	26,0— 29,0	0,5— 1,0	7,0— 13,0	7,0— 8,5	0,5— 2,0	1,5— 2,5	—
1 550 1 500—1 600	0,5 0,35—0,6	1 550 1 500—1 600	0,5 0,35—0,6	„ „	54,0— 58,0	26,0— 28,5	0,5— 1,0	6,0— 10,0	3,5— 4,0	1,0— 2,0	2,5— 3,0	—

Республика, край, область	Бассейн, место- рождение	Марка топлив	Класс или про- дукт обогащения	Рабочая масса топлива							
				состав, %							
				W ^p	A ^p	S _K ^p	S _{Op} ^p	C ^p	H ^p	N ^p	O ^p
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
19. РСФСР, Кемеров- ская обл.	Томусинские № 3—4, № 7—8, Чер- ниговский углеразрезы	1СС, 2СС	Р, окисленный	12,0	18,9	0,4		59,1	3,4	1,7	4,5
20. Казахская ССР	Карагандинский	К	Р	8,0	27,6	0,8		54,7	3,3	0,8	4,8
21. То же	То же	К	Промпродукт мокрого обога- щения	10,0	38,7	0,9		42,1	2,7	0,7	4,9
22. " "	Экибастузский: Разрезы 1, 2, 3	СС	Р	7,0	38,1	0,4	0,4	43,4	2,9	0,8	7,0
23. " "	Разрез 5/6	СС	Р	7,0	40,9	0,4	0,4	41,1	2,8	0,8	6,6
24. " "	Куучекинское	СС	Р	7,0	40,9	0,7		42,5	2,6	0,7	5,6
25. " "	Ленгерское	БЗ	Р, отсев	29,0	11,4	1,2	0,5	45,0	2,6	0,4	9,9
26. РСФСР, Тульская, Смоленская, Ка- лининская, Ка- лужская и Рязан- ская обл.	Подмосковный: в целом по бассейну ²	Б2	Р, ОМСШ	32,0	25,2	1,5	1,2	28,7	2,2	0,6	8,6
27. То же	Трест „Черепе- тьуголь“	Б2	Р, ОМСШ	31,0	29,0	1,2	0,9	26,0	2,2	0,4	9,3
28. Коми АССР	Печорский: Воркутинское	Ж	Р, отсев	5,5	23,6	0,8		59,6	3,8	1,3	5,4
29. То же	Интинское	Д	То же	11,0	25,4	2,0	0,6	47,7	3,2	1,3	8,8
30. УССР, Львовская и Волынская обл.	Львовско-Во- лынский: Волынское	Г	Р	10,0	19,8	1,8	0,8	55,5	3,7	0,9	7,5
31. То же	Межреченское	Г	Р	8,0	25,8	2,3	0,8	53,7	3,6	0,7	5,1
32. Башкирская АССР	Бабзевское	Б1	Р	56,5	7,0	0,5		25,4	2,4	0,2	8,0
33. РСФСР, Пермская обл.	Кизеловский	Г	Р, отсев, К, М	6,0	31,0	6,1		48,5	3,6	0,8	4,0
34. То же	То же	Г	Промпродукт мокрого обога- щения	6,5	39,0	6,8	1,6	37,4	2,9	0,7	5,1
35. РСФСР, Челябин- ская обл.	Челябинский:	БЗ	Р, МСШ	18,0	29,5	1,0		37,3	2,8	0,9	10,5
36. РСФСР, Свердлов- ская обл.	Егоршинское	ПА	Р	8,0	23,9	0,4		60,3	2,5	0,9	4,0
37. То же	Волчанское	БЗ	Р	22,0	33,2	0,2		28,7	2,3	0,5	13,1
38. " "	Веселовское и Богословское	БЗ	Р	24,0	30,4	0,4		29,9	2,3	0,5	12,5
39. Грузинская ССР	Ткварчельское	Ж	Промпродукт мокрого обогащения	11,5	35,0	0,9	0,4	42,5	3,2	0,8	5,7
40. То же	Ткибульское	Г	То же	13,0	27,0	0,7	0,6	45,4	3,5	0,9	8,9
41. Узбекская ССР	Ангренское	Б2	ОМСШ	34,5	13,1	1,3		39,8	2,0	0,2	9,1

Продолжение табл. I

Низшая теплота сгорания, ккал/кг	Зольность на сухую массу, %	Максимальные			Влажность гигроскопиче- ская, %	Приведенные		Выход лету- чих на горю- чую массу, %	Теплота сго- рания по бом- бе, ккал/кг
		влаж- ность, %	зольность, %	содержание серы, %		влажность, % 10 ³ кг/ккал	зольность, % 10 ³ кг/ккал		
$Q_{\text{н}}^{\text{p}}$	A^{c}	$W_{\text{макс}}^{\text{p}}$	$A_{\text{макс}}^{\text{c}}$	$S_{\text{макс}}^{\text{c}}$	$W_{\text{гн}}$	$W^{\text{п}}$	$A^{\text{п}}$	$V^{\text{г}}$	$Q_{\text{б}}^{\text{г}}$
13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
5 390	21,5	20,0	25,0	—	4,0	2,22	3,51	25,0	8 200
5 090	30,0	12,0	35,0	—	1,5	1,57	5,42	28,0	8 300
3 880	43,0	—	48,0	—	2,0	2,58	9,97	30,0	8 000
4 000	41,0	—	44,0	—	2,5	1,75	9,53	30,0 ¹	7 700
3 790	44,0	—	48,0	—	2,5	1,85	10,79	30,0	7 700
3 910	44,0	10,0	50,0	—	2,0	1,79	10,47	27,0	7 900
3 850	16,0	—	—	—	10,0	7,53	2,96	39,0	7 050
2 490	37,0	—	45,0	10,0	7,5	12,85	10,12	50,0 ¹	6 700
2 220	42,0	—	50,0	5,0	7,0	13,96	13,06	55,0	6 450
5 650	25,0	7,5	32,0	—	1,8	0,97	4,18	33,0	8 330
4 370	28,5]	12,0	32,0	—	7,0	2,52	5,81	40,0	7 350
5 250	22,0	12,0	30,0	—	3,5	1,90	3,77	39,0	7 950
5 150	28,0	10,0	35,0	4,8	1,5	1,55	5,01	38,0	8 250
2 090	16,0	60,0	20,0	—	10,0	27,03	3,35	65,0 ¹	7 050
4 700	33,0	8,0	40,0	—	1,5	1,28	6,60	42,0	8 050
3 810	42,0	—	—	—	1,0	1,71	10,31	44,0	7 750
3 330	36,0	—	45,0	—	10,0	5,40	8,86	45,0 ¹	6 900
5 350	26,0	10,0	35,0	—	1,5	1,50	4,47	9,0	8 150
2 380	42,5	30,0	45,0	—	8,5	9,24	13,95	50,0	5 900
2 480	40,0	30,0	45,0	—	9,5	9,68	12,26	45,0	6 070
4 000	39,5	—	—	—	1,5	2,87	8,75	41,0	8 000
4 280	31,0	—	—	—	3,0	3,03	6,31	45,0	7 650
3 300	20,0	39,0	25,0	—	11,0	10,45	3,97	33,5	6 950

Республика, край, область	Бассейн, место- рождение	Марка топлива	Класс или про- дукт обогащения	Температура плавкости золы, °C		
				начало деформации	начало размягчения	начало жидкоплавко- го состояния
				t_1	t_2	t_3
1	2	3	4	23	24	25
19. РСФСР, Кемеров- ская обл.	Томусинские № 3—4, № 7—8, Черниговский углеразрезы Карагандинский	1СС, 2СС	Р, окисленный	1 120 1 020—1 350	1 270 1 190—1 500	1 300 1 220—1 500
20. Казахская ССР	То же	К	Р	1 400 1 190—>1 500	1 450 1 300—>1 500	1 470 1 320—>1 500
21. То же	То же	К	Промпродукт мокрого обога- щения	1 200 1 130—1 300	1 300 1 200—1 430	1 330 1 230—1 450
22. " "	Экибастузский: Разрезы 1, 2, 3	СС	Р,	1 300 1 145—1 400	>1 500 1 300—>1 500	>1 500 1 330—>1 500
23. " "	Разрез 5/6	СС	Р	—	—	—
24. " "	Куучекинское	СС	Р	>1 500	—	—
25. " "	Ленгерское	БЗ	Р, отсев	1 030	1 050	1 070
26. РСФСР, Тульская, Смоленская, Ка- лининская, Ка- лужская и Рязан- ская обл.	Подмосковный: в целом по бассейну ²	Б2	Р, ОМСШ	1 350 1 000—>1 500	1 500 1 050—>1 500	>1 500 1 100—>1 500
27. То же	Трест „Чере- петьуголь“	Б2	Р, ОМСШ	1 350 1 050—>1 500	>1 500 1 100—>1 500	>1 500
28. Коми АССР	Печорский: Воркутинское	Ж	Р, отсев	1 140 1 130—1 150	1 200 1 170—1 250	1 250 1 200—1 300
29. То же	Интинское	Д	То же	1 050 1 000—1 130	1 150 1 080—1 200	1 170 1 130—1 240
30. УССР, Львовская и Волынская обл.	Львовско-Во- лынский: Волыньское	Г	Р	1 100	1 200	1 230
31. То же	Межреченское	Г	Р	1 130	1 200	1 230
32. Башкирская АССР	Бабаевское	Б1	Р	1 040—1 180 1 070	1 065—1 250 1 150	1 080—1 280 1 190
33. РСФСР, Пермская обл.	Кизеловский	Г	Р, отсев, К, М	1 050—1 200 1 200 960—1 450	1 100—1 250 1 450 1 150—>1 500	1 170—1 280 >1 500 1 300—>1 500
34. То же	То же	Г	Промпродукт мокрого обога- щения	1 000	1 250	1 350
35. РСФСР, Челябин- ская обл.	Челябинский:		Р, МСШ	1 150	1 250	1 300
36. РСФСР, Св д- ловская обл.	Егоршинское	П	Р	1 080—1 200 >1 500	1 150—1 350 —	1 200—1 350 —
37. То же	Волчанское	БЗ	Р	1 350	>1 500	>1 500
38. " "	Веселовское и Богословское	БЗ	Р	1 200	1 400	1 450
39. Грузинская	Ткварчельское	Ж	Промпродукт мокрого обога- щения	1 450 1 400—>1 500	>1 500	>1 500
40. То же	Ткибульское	Г	То же	1 450 1 300—>1 500	1 470 1 350—>1 500	1 480 1 370—>1 500
41. Узбекская ССР	Ангренское	Б2	ОМСШ	1 160	1 300	1 320

Продолжение табл. I

Параметры истинно жидкого состояния		Параметры начала нормального жидкого шлакоудаления		Характеристика нелетучего остатка	Химический состав золы на бессульфатную массу, %							
$t_0, ^\circ\text{C}$	$\mu_0, (\text{кгс}\cdot\text{сек})/\text{м}^2$	$t_{\text{н.ж}}, ^\circ\text{C}$	$\mu_{\text{н.ж}}, (\text{кгс}\cdot\text{сек})/\text{м}^2$		SiO_2	Al_2O_3	TiO_2	Fe_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O
26	27	28	29		31	32	33	34	35	36	37	38
1 300 1 250—1 350	>20	1 500	2,0	Порошкообразный	44,0—57,5	27,0—30,5	0,8—1,0	4,5—12,0	2,5—17,0	0,5—4,0	2,0—3,0	
1 580	—	~1 650	—	Спекшийся	—	—	—	—	—	—	—	—
1 460	—	1 540	2,0	То же	54,0	27,5	1,0	7,0	6,5	1,5	2,0	0,5
—	—	—	—	От порошкообразного до слипшегося	64,5	27,5	0,7	4,5	1,7	0,2	0,6	0,3
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	От порошкообразного до слабоспекшегося	57,5	34,5	—	5,5	1,0	0,8	0,7	
—	—	—	—	Порошкообразный	37,5	15,0	0,5	21,5	18,5	5,0	1,0	1,0
>1 650	2,0	1 650	2,0	То же	48,0	37,5	—	8,0	5,5	1,0	—	—
>1 650	2,0	1 650	2,0	" "	47,5	41,0	0,5	7,0	3,5	0,5	—	—
1 450	10,0	1 550	2,0	Спекшийся	60,0	22,0	0,5	8,5	4,0	2,0	2,0	1,0
1 350	10,0	1 450	2,0	Порошкообразный	55,0	21,5	—	13,0	6,0	2,0	2,5	
1 200—1 400	4,0—20,0	1 350—1 550	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1 350	0,5	1 350	0,5	От слабоспекшегося до спекшегося	40,0	26,0	0,5	22,0	8,0	1,5	1,5	0,5
1 300	0,5	1 400	0,5—2,0	Спекшийся	40,0	28,5	0,5	19,0	8,0	2,0	1,5	0,5
—	—	—	—	Порошкообразный	57,0	19,5	2,0	5,0	11,5	3,0	1,0	1,0
—	—	—	—	От порошкообразного до спекшегося	46,5	32,0	—	19,5	1,0	1,0	—	—
—	—	—	—	Спекшийся	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	Порошкообразный	50,0	25,0	—	13,0	7,0	2,0	1,5	1,5
—	—	—	—	То же	52,0	38,0	—	5,0	3,5	1,5	—	—
—	—	—	—	" "	47,5	39,0	1,0	5,5	4,4	1,3	1,0	0,3
—	—	—	—	" "	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	Спекшийся	56,0	31,0	1,2	5,0	4,1	0,5	0,8	1,4
—	—	—	—	Слабоспекшийся	52,5	31,5	1,4	8,0	5,0	0,8	0,2	0,6
1 350	—	1 350	—	Порошкообразный	32,5	21,5	—	15,0	24,0	3,5	3,5	

Республика, край, область	Бассейн, место- рождение	Марка топлива	Класс или про- дукт обогащения	Рабочая масса топлива							
				состав, %							
				W ^p	A ^p	S _к ^p	S _{ср} ^p	C ^p	H ^p	N ^p	O ^p
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
42. Киргизская ССР	Кок-Янгак	Д	Р, ОМ, СШ	10,5	17,9	1,7		55,8	3,7	0,6	9,8
43. То же	Таш-Кумыр	Д	Р, СШ	14,5	21,4	1,2		48,4	3,3	0,8	10,4
44. " "	Сулюкта	БЗ	ОМ, СШ	22,0	13,3	0,2	0,3	50,1	2,6	0,5	11,0
45. " "	Кызыл-Кия	БЗ	ОМ, СШ	28,0	14,4	0,6	0,3	44,4	2,4	0,5	9,4
46. " "	Кара-Киче ³	БЗ	ОМ, СШ	19,0	8,1	0,7		55,0	3,1	0,6	13,5
47. Таджикская ССР	Шураб, шахта № 8	Б2	К, ОМ, СШ	29,5	9,2	0,6	0,4	47,2	2,2	0,5	10,4
48. То же	Шураб, шахта № 1/2	БЗ	Р	21,5	14,1	0,8	0,4	47,3	3,0	0,6	12,3
49. РСФСР, Красно- ярский край	Канско-Ачин- ский: Ирша-Бородин- ское	Б2	Р	33,0	6,0	0,2		43,7	3,0	0,6	13,5
50. То же	Назаровское	Б2	Р	39,0	7,3	0,4		37,6	2,6	0,4	12,7
51. " "	Березовское ³	Б2	Р	33,0	4,7	0,2		44,3	3,0	0,4	14,4
52. " "	Боготольское ³	Б1	Р	44,0	6,7	0,5		34,3	2,4	0,4	11,7
53. " "	Абанское	Б2	Р	33,5	8,0	0,4		41,5	2,9	0,6	13,1
54. РСФСР, Кемеров- ская обл.	Итатское ³	Б1	Р	40,5	6,8	0,4		36,6	2,6	0,4	12,7
55. То же	Барандатское ³	Б2	Р	37,0	4,4	0,2		41,9	2,9	0,4	13,2
56. РСФСР, Красноя- рский край	Минусинский: Черногорское	Д	Р	14,0	15,5	0,5		54,9	3,7	1,4	10,0
57. РСФСР, Иркут- ская обл.	Черемховское, Забитуйское	Д	Р, отсев	13,0	27,0	1,1		45,9	3,4	0,7	8,9
58. То же	Азейское	БЗ	Р	25,0	12,8	0,4		46,0	3,3	0,9	11,6
59. " "	Мугунское ³	БЗ	Р	22,0	14,8	0,9		46,6	3,7	0,9	11,1
60. Бурятская АССР	Гусиноозерское	БЗ	Р	23,5	16,8	0,5		43,9	3,2	0,7	11,4
61. То же	Холбоьджин- ское	БЗ		22,0	12,5	0,3		46,5	3,3	0,7	14,7
62. " "	Баянгольское	Д	Р	23,0	15,4	0,5		47,5	3,4	0,9	9,3
63. РСФСР, Читинская обл.	Букачачинское	Г	Р	8,0	9,2	0,6		67,9	4,7	0,8	8,8
64. То же	Черновское	Б2	Р	33,5	9,6	0,5		42,7	2,8	0,9	10,0
65. " "	Татауровское ³	Б2	Р	33,0	10,0	0,2		41,6	2,8	0,7	11,7
66. " "	Харанорское	Б1	Р	40,5	8,6	0,3		36,4	2,3	0,5	11,4
67. РСФСР, Хабаров- ский край	Райчихинское	Б2	К, О, МСШ, Р	37,5	9,4	0,3		37,7	2,3	0,6	12,2
68. То же	То же	Б1	Р, окисленный	47,0	7,9	0,3		30,4	1,7	0,5	12,2
69. " "	Ургатское	Г	Р	7,5	29,6	0,4		50,9	3,6	0,6	7,4
70. РСФСР, Примор- ский край	Липовецкое	Д	Р, СШ	6,0	33,8	0,4		46,1	3,6	0,5	9,6
71. То же	Сучанский	Г ₆	Р	5,5	34,0	0,4		49,8	3,2	0,8	6,3
72. " "	То же	Ж ₆	Р	5,5	32,1	0,4		52,7	3,2	0,7	5,4

Продолжение табл. I

Низшая теплота сгорания, ккал/кг	Зольность на сухую массу, %	Максимальные			Влажность гигроскопиче- ская, %	Приведенные		Выход лету- чих на горю- чую массу, %	Теплота сго- рания по бом- бе, ккал/кг
		влаж- ность, %	зольность, %	содержание серы, %		влажность, % 10 ³ кг/ккал	зольность, % 10 ³ кг/ккал		
		$W_{\text{макс}}^D$	$A_{\text{макс}}^C$	$S_{\text{макс}}^C$		W^H	A^H		
13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
5140	20,0	15,5	25,0	—	6,0	2,04	3,48	34,0	7600
4380	25,0	16,5	30,0	—	10,0	3,31	4,89	36,0	7300
4270	17,0	23,5	20,0	—	10,0	5,14	3,12	33,0	7050
3770	20,0	30,0	30,0	—	10,0	7,43	3,82	35,0	7100
4730	10,0	—	—	—	11,0	4,02	1,71	37,0	6900
3870	13,0	32,0	17,0	—	13,0	7,63	2,38	33,0	6830
4120	18,0	22,5	25,0	—	11,0	5,22	3,42	37,0	6900
3740	9,0	36,0	15,0	0,5	12,0	8,82	1,61	48,0	6750
3110	12,0	45,0	20,0	1,0	13,0	12,50	2,34	48,0	6520
3740	7,0 ⁴	—	12,0	0,5	12,0	8,83	1,25	48,0	6600
2820	12,0	—	—	—	13,6	15,5	2,38	48,0	6550
3520	12,0	—	—	—	12,0	9,52	2,26	48,0	6650
3060	11,5	—	—	1,0	13,0	13,23	2,22	48,0	6550
3540	7,0	—	—	0,5	11,5	10,45	1,24	48,0	6700
5030	18,0	20,0	25,0	—	8,0	2,78	3,08	44,0	7570
4270	31,0	16,0	36,0	—	4,5	3,04	6,32	47,0	7600
4140	17,0	27,5	20,0	—	11,0	6,04	3,08	46,0	7200
4190	19,0	—	—	—	10,5	5,25	3,53	49,0	7190
3910	22,0	26,0	35,0	—	12,0	6,01	4,30	45,0	7100
3950	16,0	—	25,0	—	15,0	5,56	3,16	45,0	6700
4310	20,0	—	—	—	7,0	5,34	3,57	40,0	7550
6380	10,0	9,0	13,0	—	4,0	1,25	1,44	42,0	8000
3460	14,5	36,0	16,0	—	9,5	9,69	3,79	43,5	7150
3550	15,0	—	—	—	11,5	9,28	2,81	45,0	6880
2980	14,5	42,0	18,5	—	12,5	13,60	2,88	44,0	6600
3040	15,0	39,0	—	—	11,0	12,33	3,09	43,0	6400
2270	15,0	—	—	—	13,0	20,7	3,48	50,0	5900
4790	32,0	9,0	33,0	—	2,5	1,57	6,18	42,0	8000
4360	36,0	16,0	38,0	—	3,5	1,38	7,76	50,0	7600
4650	36,0	7,0	—	0,7	2,0	1,19	7,31	36,0	8050
4900	34,0	7,0	—	—	1,7	1,12	6,56	31,0	8200

Республика, край, область	Бассейн, место- рождение	Марка топлива	Класс или про- дукт обогащения	Температура плавкости золы, °С		
				начало дефор- мации	начало размягчения	начало жидкоплавко- го состояния
				t_1	t_2	t_3
1	2	3	4	23	24	25
42. Киргизская ССР	Кок-Янгак	Д	Р, ОМ, СШ	1 100	1 440	1 460
43. То же	Таш-Кумыр	Д	Р, СШ	1 280	1 340	1 360
44. " "	Сулукта	БЗ	ОМ, СШ	1 120	1 230	1 250
45. " "	Кызыл-Кия	БЗ	ОМ, СШ	1 030—1 300	1 120—1 360	1 180—1 380
46. " "	Кара-Киче ³	БЗ	ОМ, СШ	1 100	1 250	1 260
47. Таджикская ССР	Шураб, шахта № 8	Б2	К, ОМ, СШ	1 150	1 300	1 320
48. То же	Шураб, шахта № 1/2	БЗ	Р	1 180	1 200	1 210
49. РСФСР, Красно- ярский край	Ирша-Бородин- ское	Б2	Р	1 080	1 160	1 190
50. То же	Назаровское	Б2	Р	1 180	1 210	1 230
51. " "	Березовское ³	Б2	Р	1 100—1 300	1 100—1 420	1 130—1 430
52. " "	Боготольское ³	Б1	Р	1 200	1 220	1 240
53. РСФСР, Красно- ярский край	Абанское	Б2	Р	1 100—1 230	1 120—1 300	1 130—1 340
54. РСФСР, Кемеров- ская обл.	Итатское ³	Б1	Р	1 270	1 290	1 310
55. То же	Барандатское ³	Б2	Р	1 050—1 460	1 120—>1 500	1 130—>1 500
56. РСФСР, Красно- ярский край	Минусинский: Черногорское	Д	Р	1 150	1 170	1 190
57. РСФСР, Иркут- ская обл.	Черемховское, Забитуйское	Д	Р, отсев	1 140	1 160	1 180
58. То же	Азейское	БЗ	Р	1 200	1 220	1 240
59. " "	Мугунское ³	БЗ	Р	1 100—1 320	1 110—1 430	1 120—1 450
60. Бурятская АССР	Гусиноозерское	БЗ	Р	1 300	1 320	1 340
61. То же	Холбольджин- ское	БЗ	Р	1 070—1 450	1 120—>1 500	1 130—>1 500
62. " "	Баянгольское	Д	Р	1 180—1 220	1 210—1 320	1 240—1 340
63. РСФСР, Читин- ская обл.	Букачачинское	Г	Р	1 130	1 240	1 280
64. То же	Черновское	Б2	Р	1 100—1 230	1 160—1 300	1 170—1 320
65. " "	Татауровское ³	Б2	Р	1 100	1 300	1 310
66. " "	Харанорское	Б1	Р	1 420	1 460	1 470
67. РСФСР, Хабаров- ский край	Райчихинское	Б2	К, О, МСШ, Р	1 080	1 200	1 220
68. То же	То же	Б1	Р, окисленный	990—1 160	1 070—1 350	1 210—1 330
69. " "	Ургальское	Г	Р	1 060	1 190	1 200
70. РСФСР, Примор- ский край	Липовецкое	Д	Р, СШ	1 110	1 220	1 260
71. То же	Сучанский:	Г ₆	Р	1 170	1 300	1 330
72. " "	То же	Ж ₆	Р	1 050—1 400	1 150—1 500	1 170—>1 500
				1 070	1 180	1 210
				1 060—1 080	1 100—1 200	1 130—1 280
				1 140	1 160	1 180
				1 160	1 250	1 250
				1 100—1 240	1 200—1 360	1 210—1 370
				1 100	1 260	1 290
				1 000—1 180	1 130—1 300	1 200—1 310
				—	—	—
				1 150	>1 500	—
				1 450	>1 500	—
				1 120	1 320	1 340
				1 100—1 220	1 160—>1 500	1 200—>1 500

Продолжение табл. I

Параметры истинно жидкого состояния		Параметры начала нормального жидкого шлакоудаления		Характеристика нелетучего остатка	Химический состав золы на бессульфатную массу, %							
$t_0, ^\circ\text{C}$	$\mu_0, (\text{кгс}\cdot\text{сек})/\text{м}^2$	$t_{\text{н.ж.}}, ^\circ\text{C}$	$\mu_{\text{н.ж.}}, (\text{кгс}\cdot\text{сек})/\text{м}^2$		SiO_2	Al_2O_3	TiO_2	Fe_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O
26	27	28	29		31	32	33	34	35	36	37	38
—	—	—	—	От слипшегося до слабоспекшегося	60,5	25,0	1,2	7,0	2,1	0,5	2,9	0,8
—	—	—	—	Порошкообразный	60,0	23,5	1,0	8,5	3,2	1,1	1,2	1,5
—	—	—	—	То же	33,0	18,5	—	13,0	27,5	6,5	1,5	—
1 350	1,0	1 350	1,0	" "	30,5	20,5	0,5	20,5	20,5	4,0	2,5	1,0
—	—	—	—	" "	35,5	20,5	0,5	18,0	18,5	5,5	0,8	0,7
—	—	—	—	" "	44,0	12,5	0,1	11,5	22,0	7,0	0,9	2,0
1 300	15	1 480	2,0	" "	53,5	21,5	0,7	10,5	6,5	3,5	2,6	1,2
1 300	0,80	1 300	0,80	" "	47,0	13,0	—	8,0	26,0	5,0	0,5	0,5
1 300	0,45—1,0	1 250—1 350	0,45—1,0	" "	31,0	13,0	—	18,0	32,0	5,0	0,5	0,5
1 250—1 350	0,30	1 300	0,30	" "	30,0	11,0	—	9,0	42,0	6,0	2,0	—
1 400	0,20—0,50	1 250—1 350	0,20—0,50	" "	37,0	13,0	—	15,0	28,0	5,0	2,0	—
1 400	0,20	1 400	0,20	" "	46,0	11,5	—	13,0	25,0	3,0	1,5	—
1 270—1 630	0,15—0,30	1 270—1 630	0,15—0,30	" "	35,5	13,0	—	14,0	33,0	3,5	1,0	—
1 300	0,45	1 300	0,15	" "	27,0	11,0	—	9,0	43,0	9,0	1,0	—
1 300	0,30—0,60	1 300	0,10—0,20	" "	47,0	30,0	—	12,0	6,0	3,0	2,0	—
1 300	0,90	1 300	0,90	" "	61,5	22,2	—	10,4	4,2	1,5	0,2	—
1 250—1 350	0,60—1,20	1 250—1 350	0,60—1,20	" "	51,5	29,5	0,5	7,5	8,5	2,0	0,3	0,2
1 300	0,35	1 300	0,35	" "	50,5	34,5	1,0	4,5	6,5	1,5	1,0	0,5
1 250—1 350	0,20—0,50	1 250—1 350	0,30—0,50	" "	51,5	24,0	0,8	12,0	5,0	3,0	3,0	0,7
1 380	0,15	1 380	0,15	" "	52,5	21,0	1,0	10,0	10,0	2,5	2,0	1,0
1 380	0,10—0,20	1 380	0,10—0,20	" "	60,5	22,0	1,0	8,5	3,0	1,0	2,0	2,0
1 450	0,8	1 450	0,8	Спекшийся	51,5	26,0	—	12,0	7,0	1,5	2,0	—
1 450	0,5—1,0	1 450	0,5—1,0	От порошкообразного до слабоспекшегося	51,5	19,0	0,5	11,0	14,0	2,5	1,5	—
—	—	—	—	Порошкообразный	51,0	17,5	1,0	11,5	14,5	2,0	1,5	1,0
1 550	1,0	1 500	1,0	То же	46,0	19,0	0,5	7,0	19,0	6,0	2,5	—
1 450—1 600	0,4—2,0	1 400—1 600	0,4—2,0	" "	36,5	26,0	—	19,5	15,0	2,0	1,0	—
—	—	—	—	" "	66,0	24,0	1,0	4,0	2,0	0,5	2,0	0,5
1 300	>30	1 400—1 500	2,0	" "	60,0	31,0	1,0	2,0	3,0	1,0	1,5	0,5
—	—	—	—	" "	63,5	23,0	0,5	4,0	5,0	1,5	2,0	0,5
—	—	—	—	" "	62,0	22,0	0,5	6,5	4,5	1,5	2,5	0,5
1 200	30	1 450	2,0	Спекшийся	—	—	—	—	—	—	—	—
1 200	20	1 450	2,0	От порошкообразного до слабоспекшегося	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	Спекшийся	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	От порошкообразного до слабоспекшегося	—	—	—	—	—	—	—	—
1 300	15	1 430	2,0	Спекшийся	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	От порошкообразного до слабоспекшегося	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	Спекшийся	—	—	—	—	—	—	—	—
1 350	100	1 630	—	От порошкообразного до слабоспекшегося	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	Спекшийся	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	От порошкообразного до слабоспекшегося	—	—	—	—	—	—	—	—

Республика, край, область	Бассейн, место- рождение	Марка топлива	Класс или про- дукт обогащения	Рабочая масса топлива							
				состав, %							
				W ^p	A ^p	S _к ^p	S _{оп} ^p	C ^p	H ^p	N ^p	O ^p
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
73. РСФСР, Примор- ский край	Сучанский:	Т	Р	5,0	22,8	0,5		64,6	2,9	0,8	3,4
74. То же	Подгороднен- ское	Т	Р	4,0	40,3	0,4		48,7	2,6	0,3	3,7
75. " "	Артемовское	БЗ	Р, СШ	24,0	24,3	0,3		35,7	2,9	0,7	12,1
76. " "	Тавричанское	БЗ	ОМ, СШ	14,0	24,9	0,4		44,6	3,5	1,3	11,3
77. " "	Реттиховское	Б1	К, ОМ, СШ	42,5	17,3	0,2		27,3	2,3	0,3	10,1
78. " "	Чихезское	Б1	Р	43,0	12,5	0,2		30,3	2,5	0,4	11,1
79. " "	Бикинское	Б2	Р	37,0	22,1	0,3		26,8	2,3	0,7	10,8
80. Якутская АССР	Джебарики-Хая	Д	Р	11,0	11,1	0,2		60,5	4,2	0,5	12,5
81. То же	Нерюнгринское	СС	Р	9,5	12,7	0,2		66,1	3,3	0,7	7,5
82. " "	Сангарское	Д	Р	10,0	13,5	0,2		61,2	4,7	0,8	9,6
83. " "	Чульмаканское	Ж	Р	7,5	23,1	0,3		59,0	4,1	1,0	5,0
84. РСФСР, Магадан- ская обл.	Нижне-Аркага- линское	Д	Р	16,5	9,2	0,3		59,1	4,1	1,0	9,8
85. То же	Верхне-Аркага- линское	Д	Р	19,0	13,0	0,1		50,1	3,4	0,7	13,7
86. " "	Анадырское	БЗ	Р	21,0	11,9	0,1		50,1	4,0	0,7	12,2
87. РСФСР, Южный Сахалин	—	Д	Р, ОМ, СШ	11,5	22,1	0,4		51,5	4,0	1,0	9,5
88. То же	—	Г	Р, КО, МСШ, КОМСШ	9,5	12,7	0,5		63,9	4,7	1,4	7,3
89. " "	—	БЗ	Р	20,0	20,0	0,2		43,4	3,4	0,8	12,2
90. Эстонская ССР	Шахты и разрез „Вивиконд“	Горючий сланец	Энергетический мелкий	13,0	40,0+ +14,4 ⁵	1,3	0,3	24,1	3,1	0,1	3,7
91. То же	Разрезы № 1, „Сиргола“ и „Вивиконд“	То же	Энергетический	12,5	41,2+ +18,4 ⁵	1,4		20,6	2,7	0,1	3,1
92. РСФСР, Ленин- градская обл.	—	" "	Крупный, сред- ний, мелкий	11,5	44,2+ +16,4 ⁵	1,4	0,3	20,6	2,7	0,1	2,8
93. РСФСР, Куйбы- шевская обл.	Кашпирское	" "	—	17,5	49,7+ +9,5	1,8	1,6	13,5	1,8	0,3	4,3
94. " Торф	—	Фрезер- ный торф	—	50,0	6,3	0,1		24,7	2,6	1,1	15,2
95. Дрова	—	Дрова	—	40,0	0,6	—		30,3	3,6	0,4	25,1
96. Мазут	—	—	Малосернистый	3,0	0,05	0,3		84,65	11,7	0,3 ⁷	
97. Мазут	—	—	Сернистый	3,0	0,1	1,4		83,8	11,2	0,5 ⁷	
98. Мазут	—	—	Высокосернистый	3,0	0,1	2,8		83,0	10,4	0,7 ⁷	
99. Стабилизированная нефть	—	—	—	3,0	0,1	2,9		81,8	11,8	0,4 ⁷	

¹ Теплота сгорания летучих веществ

Донбасс: антрацит 10 200 ккал/кг
полуантрацит 11 500 " "
тощий 13 000 " "
газовый 8 400 " "
длиннопламенный 7 000 " "

² В том числе. Скопинская группа шахт комбината „Новомосковскуголь“, $S_{об}^Г=12,5$; Сафоновское шахтоуправление комбината „Тула“
³ Не разрабатывается.
⁴ $A_{мин}^С=4\%$, при этом химический состав золы следующий: $SiO_2=15,0\%$; $Al_2O_3=10,0\%$; $F_2O_3=6,0\%$; $CaO=60,0\%$; $MgO=7,0\%$; $K_2O+Na_2O=$
⁵ Первое слагаемое — зола, второе — двуокись углерода карбонатов.
⁶ Теплота сгорания для сланцев дана без учета отрицательного теплового эффекта разложения карбонатов.
⁷ Для расчетов принимать как кислород.

Продолжение табл. 1

Назшая теплота сгорания, ккал/кг	Зольность на сухую массу, %	Максимальные			Влажность гигроскопиче- ская, %	Приведенные		Выход летучих на горючую массу, %	Теплота сго- рания по бомбе, ккал/кг
		влаж- ность, %	зольность, %	содержание серы, %		влажность, %, 10 ³ кг/ккал	зольность, %, 10 ³ кг/ккал		
Q_H^p	A^c	$W_{\text{макс}}^p$	$A_{\text{макс}}^c$	$S_{\text{макс}}^c$	$W_{\text{гн}}$	$W^{\text{п}}$	$A^{\text{п}}$	$V^{\text{г}}$	$Q_6^{\text{г}}$
13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
5 790	24,0	7,0	33,0	—	1,5	0,86	3,94	19,0	8 300
4 390	42,0	5,0	43,0	—	1,2	0,91	9,18	16,0	8 200
3 180	32,0	30,0	36,0	—	9,0	7,55	7,64	50,0	6 750
4 080	29,0	17,0	32,0	—	8,5	3,43	6,10	47,0	7 150
2 400	30,0	47,0	—	—	9,0	17,71	7,21	59,0 ¹	6 500
2 560	22,0	—	—	—	10,5	16,80	4,88	58,0	6 650
2 160	35,0	—	—	—	10,5	17,12	10,23	56,0 ¹	6 140
5 500	12,5	12,0	14,0	—	6,0	2,00	2,02	42,0	7 450
5 895	14,0	—	—	—	5,0	1,61	2,16	24,0	7 900
5 790	15,0	—	—	—	4,0	1,73	2,33	50,0	8 000
5 550	25,0	—	—	—	1,5	1,35	4,16	38,0	8 400
5 480	11,0	—	—	—	4,0	3,01	1,68	40,0	7 700
4 420	16,0	—	—	—	12,0	4,30	2,94	43,0	6 950
4 590	15,0	—	—	—	11,3	4,58	2,60	49,0	7 370
5 470	25,0	15,0	30,0	—	4,5	2,10	4,04	47,0	7 750
6 110	14,0	12,0	20,0	—	2,5	1,55	2,08	43,0	8 270
3 920	25,0	30,0	30,0	—	9,5	5,10	5,10	48,0	7 050
2 610	48+16,5	—	—	—	1,2	4,97	20,8	90,0	8 900*
2 230	49+21	—	—	—	—	5,6	26,7	90,0	8 900*
2 230	52+18,5	—	—	—	1,2	5,15	27,1	90,0	8 900*
1 390	64+11,5	—	—	—	3,5	12,6	42,6	80,0	7 000*
1 940	12,5	55,0	23,0	—	11,0	25,8	3,25	70,0	5 470
2 440	1,0	45,0	—	—	—	—	—	85,0	4 850
9 620	—	—	—	0,5	—	—	—	—	—
9 490	—	—	—	2,0	—	—	—	—	—
9 260	—	—	—	4,2	—	—	—	—	—
9 500	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Кузбасс: 1СС и 2СС
тощий 10 000 ккал/кг
экибастузский 10 300 " "
подмосковный 8 000 " "
башкирский 5 500 " "
челябинский 6 500 " "
ретиловский 5 000 " "
бикинский 5 500 " "
4 850 " "

уголь*: $W^p=38,0\%$; $A^c=34,0\%$; $Q_H^{\text{г}}=6 400$ ккал/кг; $Q_H^p=2 390$ ккал/кг.

2,0%; $t_1>1 500$ °C; $t_2=1 650$ °C (1 600—1 700 °C); $\mu_0=0,1\div 0,2$ (кгс·сек)/м².

Республика, край, область	Бассейн, месторождение	Марка топлива	Класс или продукт обогащения	Температура плавкости золы, °		
				начало деформации	начало размягчения	начало жидкотекуче-го состояния
				t_1	t_2	t_3
1	2	3	4	23	24	25
73. РСФСР, Приморский край	Сучанский:	Т	Р	1 100	1 250	1 280
74. То же	Подгородненское	Т	Р	1 350	1 450	>1 500
75. " "	Артемовское	БЗ	Р, СШ	1 050—1 420 1 130	1 230—>1 500 1 300	1 270—>1 500 1 320
76. " "	Тавричанское	БЗ	ОМ, СШ	1 030—1 350 1 200	1 110—1 450 1 400	1 130—1 480 1 450
77. " "	Реттиховское	Б1	К, ОМ, СШ	1 050—1 400 1 300	1 100—>1 500 1 380	1 200—>1 500 1 400
78. " "	Чихезское	Б1	Р	1 180—1 350 1 200	1 300—>1 500 1 250	1 330—>1 500 1 260
79. " "	Бикинское	Б2	Р	1 380	1 460	1 500
80. Якутская АССР	Джебарики-Хая	Д	Р	1 120	1 160	1 180
81. То же	Нерюнгринское	СС	Р	1 430	1 500	—
82. " "	Сангарское	Д	Р	1 100	1 130	1 150
83. " "	Чульмаканское	Ж	Р	1 110	1 210	1 310
84. РСФСР, Магаданская обл.	Нижне-Аркага-линское	Д	Р	1 060	1 150	1 200
85. То же	Верхне-Аркага-линское	Д	Р	1 050	1 130	1 160
86. " "	Анадырское	БЗ	Р	1 400	>1 500	—
87. РСФСР, Южный Сахалин	—	Д	Р, ОМ, СШ	1 200 1 120—1 320	1 300 1 220—1 400	1 320 1 240—1 480
88. То же	—	Г	Р, КО, МСШ, КОМСШ	1 200	1 300	1 320
89. " "	—	БЗ	Р	1 120—1 320 1 130—1 480	1 220—1 400 1 190—>1 500	1 240—1 420 1 210—>1 500
Сланцы горючие						
90. Эстонская ССР	Шахты и разрез „Вивиконд“	Горючий сланец	Энергетический мелкий	1 300	1 400	1 430
91. То же	Разрезы № 1, „Сиргола“ и „Вивиконд“	То же	Энергетический	1 400	>1 500	—
92. РСФСР, Ленинградская обл.	—	" "	Крупный, средний, мелкий	1 250	1 360	1 380
93. РСФСР, Куйбышевская обл.	Кашпирское	" "	—	1 140—1 430 1 050	1 220—>1 500 1 120	1 230—>1 500 1 150
94. Торф	—	Фрезерный торф	—	1 010	1 150	1 200
95. Дрова	—	Дрова	—	800—1 400	1 000—1 500	1 010—>1 500
Жидкое топливо						
96. Мазут	—	—	Малосернистый	—	—	—
97. Мазут	—	—	Сернистый	—	—	—
98. Мазут	—	—	Высокосернистый	—	—	—
99. Стабилизированная нефть	—	—	—	—	—	—

Продолжение табл. 1

[illegible]

РАСЧЕТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГАЗООБРАЗНЫХ ТОПЛИВ

Таблица II

Газопровод	Состав газа по объему, %												Теплота сгорания низшая сухого газа $Q_{н}^с$, ккал/м ³	Плотность при 0 °С и 760 мм рт. ст. $\rho_{г. тл}^с$, кг/м ³
	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	C ₅ H ₁₂ и более тяжелые	N ₂	CO ₂	H ₂ S	O ₂	CO	H ₂	непредельные углеводороды		
I. Природные газы														
1. Саратов—Москва	84,5	3,8	1,9	0,9	0,3	7,8	0,8	—	—	—	—	—	8 550	0,837
2. Первомайск—Сторожевка	62,4	3,6	2,6	0,9	0,2	30,2	0,1	—	—	—	—	—	6 760	0,952
3. Саратов—Горький	91,9	2,1	1,3	0,4	0,1	3,0	1,2	—	—	—	—	—	8 630	0,786
4. Ставрополь—Москва (I нитка)	93,8	2,0	0,8	0,3	0,1	2,6	0,4	—	—	—	—	—	8 620	0,764
5. Ставрополь—Москва (II нитка)	92,8	2,8	0,9	0,4	0,1	2,5	0,5	—	—	—	—	—	8 730	0,772
6. Ставрополь—Москва (III нитка)	91,2	3,9	1,2	0,5	0,1	2,6	0,5	—	—	—	—	—	8 840	0,786
7. Серпухов—Ленинград	89,7	5,2	1,7	0,5	0,1	2,7	0,1	—	—	—	—	—	8 940	0,799
8. Гоголево—Полтава	85,8	0,2	0,1	0,1	0	13,7	0,1	—	—	—	—	—	7 400	0,789
9. Дашава—Киев	98,9	0,3	0,1	0,1	0	0,4	0,2	—	—	—	—	—	8 570	0,712
10. Рудки—Минск—Вильнюс и Рудки—Самбор	95,6	0,7	0,4	0,2	0,2	2,8	0,1	—	—	—	—	—	8 480	0,740
11. Угерско—Стрый, Угерско—Гнездици—Киев, Угерско—Львов	98,5	0,2	0,1	0	0	1,0	0,2	—	—	—	—	—	8 480	0,722
12. Брянск—Москва	92,8	3,9	1,1	0,4	0,1	1,6	0,1	—	—	—	—	—	8 910	0,776
13. Шебелинка—Острогожск, Шебелинка—Днепропетровск, Шебелинка—Харьков	92,8	3,9	1,0	0,4	0,3	1,5	0,1	—	—	—	—	—	8 910	0,781
14. Шебелинка—Брянск—Москва	94,1	3,1	0,6	0,2	0,8	1,2	—	—	—	—	—	—	9 045	0,776
15. Кумертау—Ишимбай—Магнитогорск	81,7	5,3	2,9	0,9	0,3	8,8	0,1	—	—	—	—	—	8 790	0,858
16. Промысловка—Астрахань	97,1	0,3	0,1	0	0	2,4	0,1	—	—	—	—	—	8 370	0,733
17. Газли—Коган	95,4	2,6	0,3	0,2	0,2	1,1	0,2	—	—	—	—	—	8 740	0,750
18. Хаджи-Абад—Фергана	85,9	6,1	1,5	0,8	0,6	5,0	0,1	—	—	—	—	—	9 160	0,832
19. Джаркак—Ташкент	95,5	2,7	0,4	0,2	0,1	1,0	0,1	—	—	—	—	—	8 760	0,748
20. Газли—Коган—Ташкент	94,0	2,8	0,4	0,3	0,1	2,0	0,4	—	—	—	—	—	8 660	0,751
21. Ставрополь—Невинномысск—Грозный	98,2	0,4	0,1	0,1	0	1,0	0,2	—	—	—	—	—	8 510	0,728
22. Карабулак—Грозный	68,5	14,5	7,6	3,5	1,0	3,5	1,4	—	—	—	—	—	10 950	1,036
23. Саушино—Лог—Волгоград	96,1	0,7	0,1	0,1	0	2,8	0,2	—	—	—	—	—	8 390	0,741
24. Коробки—Лог—Волгоград	93,2	1,9	0,8	0,3	0,1	3,0	0,7	—	—	—	—	—	8 560	0,766
25. Коробки—Жирное—Камыши	81,5	8,0	4,0	2,3	0,5	3,2	0,5	—	—	—	—	—	9 900	0,901
26. Карадаг—Тбилиси—Ереван	93,9	3,1	1,1	0,3	0,1	1,3	0,2	—	—	—	—	—	8 860	0,766
27. Бухара—Урал	94,9	3,2	0,4	0,1	0,1	0,9	0,4	—	—	—	—	—	8 770	0,758
28. Урицк—Сторожевка	91,9	2,4	1,1	0,8	0,1	3,2	0,5	—	—	—	—	—	8 710	0,789
29. Линево—Кологривовка—Вольск	93,2	2,6	1,2	0,7	—	2,0	0,3	—	—	—	—	—	8 840	0,782
30. Средняя Азия—Центр	93,8	3,6	0,7	0,2	0,4	0,7	0,6	—	—	—	—	—	8 970	0,776
31. Игрим-Пунга—Серов—Нижний Тагил	95,7	1,9	0,5	0,3	0,1	1,3	—	—	—	—	0,2	—	8 710	0,741
32. Оренбург—Совхозное	91,4	4,1	1,9	0,6	—	0,2	0,7	—	—	—	1,1	—	9 080	0,883

Газопровод		Состав газа по объему, %												Теплота сгорания низшая сухого газа Q_n^c , ккал/м ³	Плотность при 0 °С и 760 мм рт. ст. $\rho_{г. тл}^c$, кг/м ³
		CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	C ₅ H ₁₂ и более тяжелые	N ₂	CO ₂	H ₂ S	O ₂	CO	H ₂	непредельные углеводороды		
II. Попутные газы															
Производственное объединение	Газопровод														
33. Пермьнефть	Каменный Лог—Пермь	38,7	22,6	10,7	2,7	0,7	23,8	0,8	—	—	—	—	—	10 120	1,196
34. То же	Ярино—Пермь	38,0	25,1	12,5	3,3	1,3	18,7	1,1	—	—	—	—	—	11 200	1,196
35. Куйбышевнефть	Кулешовка—Куйбышев	58,0	17,2	7,4	2,0	0,5	13,6	0,8	0,5	—	—	—	—	9 970	1,052
36. То же	Безенчук—Чапаевск	42,7	19,6	12,6	5,1	1,3	16,9	1,0	0,8	—	—	—	—	11 220	1,196
37. Туркменнефть	Барса-Гельмес—Вышка—Небит-Даг, Кызыл-Кум—Кум-Даг—Небит-Даг, Котур-Тепе—Челекен и др.	93,9	3,4	1,3	0,7	0,2	0,1	0,4	—	—	—	—	—	9 100	0,778
38. Краснодарнефтегаз	На входе в г. Краснодар, Крымск и Новороссийск	91,2	3,9	2,0	0,9	0,2	—	1,8	—	—	—	—	—	9 140	0,810
39. Грознефть	Вознесенская—Грозный, Карабулак—Грозный	76,7	13,2	5,4	2,5	2,2	—	—	—	—	—	—	—	11 230	0,971
40. Ухтакомбинат	Тэбук—Сосновка	48,2	18,2	11,9	3,3	1,0	16,5	0,9	—	—	—	—	—	10 780	1,164
41. Башнефтегаз	Туймазы—Уфа	50,0	22,0	9,8	1,2	0,4	16,6	—	—	—	—	—	—	10 280	1,095
42. То же	Шкапово—Туймазы	44,1	22,0	5,2	1,4	0,3	27,0	—	—	—	—	—	—	8 750	1,095
43. Татарская АССР, Миннибаевский ГПЗ	Казань—Бугульма—Лениногорск—Альметьевск	53,6	22,8	6,1	0,9	0,2	15,8	0,2	—	0,4	—	—	—	9 700	1,046
44. Азербайджанская ССР, Карадагский ГБЗ		96,1	2,9	0,8	0,1	0,1	—	—	—	—	—	—	—	8 900	0,751
III. Промышленные газы															
45. Газ доменных печей, работающих на коксе и с добавкой природного газа		0,3	—	—	—	—	55,0	12,5	—	0,2	27,0	5,0	—	903	1,194
46. Газ коксовых печей		25,5	—	—	—	—	3,0	2,4	—	0,5	6,5	59,8	2,3	4 050	0,424

* Не.

СРЕДНЯЯ ТЕПЛОЕМКОСТЬ ВОЗДУХА И ГАЗОВ c , ккал/(м³·°C), от 0 до t , °C

Таблица III

t , °C	c_{CO_2}	c_{N_2}	c_{O_2}	c_{H_2O}	$c_{с.в.}$	$c_{г}$	t , °C	c_{CO_2}	c_{N_2}	c_{O_2}	c_{H_2O}	$c_{с.в.}$	$c_{г}$
0	0,3821	0,3092	0,3119	0,3569	0,3098	0,3150	1 300	0,5469	0,3404	0,3608	0,4306	0,3447	0,3517
100	0,4061	0,3095	0,3147	0,3595	0,3106	0,3163	1 400	0,5526	0,3427	0,3631	0,4366	0,3470	0,3542
200	0,4269	0,3104	0,3189	0,3636	0,3122	0,3181	1 500	0,5578	0,3449	0,3653	0,4425	0,3492	0,3565
300	0,4449	0,3121	0,3239	0,3684	0,3146	0,3206	1 600	0,5626	0,3470	0,3673	0,4481	0,3513	0,3587
400	0,4609	0,3144	0,3290	0,3739	0,3174	0,3235	1 700	0,5671	0,3490	0,3693	0,4537	0,3532	0,3607
500	0,4750	0,3171	0,3339	0,3797	0,3207	0,3268	1 800	0,5712	0,3508	0,3712	0,4589	0,3551	0,3625
600	0,4875	0,3201	0,3384	0,3857	0,3240	0,3303	1 900	0,5750	0,3525	0,3730	0,4639	0,3568	0,3644
700	0,4988	0,3233	0,3426	0,3920	0,3274	0,3338	2 000	0,5785	0,3541	0,3748	0,4688	0,3585	0,3661
800	0,5090	0,3265	0,3463	0,3984	0,3306	0,3371	2 100	0,5818	0,3557	0,3764	0,4735	0,3600	0,3678
900	0,5181	0,3295	0,3498	0,4050	0,3338	0,3403	2 200	0,5848	0,3571	0,3781	0,4779	0,3615	0,3693
1 000	0,5263	0,3324	0,3529	0,4115	0,3367	0,3433	2 300	0,5876	0,3585	0,3797	0,4822	0,3629	0,3708
1 100	0,5338	0,3352	0,3557	0,4180	0,3395	0,3483	2 400	0,5902	0,3598	0,3813	0,4864	0,3643	0,3722
1 200	0,5407	0,3378	0,3584	0,4244	0,3422	0,3490	2 500	0,5926	0,3610	0,3828	0,4903	0,3655	0,3735

ФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОЗДУХА И ДЫМОВЫХ ГАЗОВ
СРЕДНЕГО СОСТАВА

Таблица IV

Воздух							Дымовые газы среднего состава						
t, °C	Воздух			Дымовые газы среднего состава			t, °C	Воздух			Дымовые газы среднего состава		
	$\nu \cdot 10^8$, м ² /сек	$\lambda \cdot 10^2$, ккал/(м·ч·°C)	Pr	$\nu \cdot 10^8$, м ² /сек	$\lambda \cdot 10^2$, ккал/(м·ч·°C)	Pr		$\nu \cdot 10^8$, м ² /сек	$\lambda \cdot 10^2$, ккал/(м·ч·°C)	Pr	$\nu \cdot 10^8$, м ² /сек	$\lambda \cdot 10^2$, ккал/(м·ч·°C)	Pr
0	13,2	2,09	0,70	11,9	1,96	0,74	1 200	223	7,63	0,73	211	10,8	0,56
100	23,2	2,74	0,69	20,8	2,69	0,70	1 300	247	7,97	0,73	234	11,6	0,55
200	34,8	3,35	0,69	31,6	3,45	0,67	1 400	273	8,30	0,73	258	12,4	0,54
300	48,2	3,85	0,69	43,9	4,16	0,65	1 500	300	8,62	0,73	282	13,2	0,53
400	62,9	4,34	0,70	57,8	4,90	0,64	1 600	327	8,93	0,74	307	14,0	0,52
500	79,3	4,83	0,70	73,0	5,64	0,62	1 700	355	9,24	0,74	333	14,9	0,51
600	96,7	5,29	0,71	89,4	6,38	0,61	1 800	384	9,55	0,74	361	15,6	0,50
700	115	5,73	0,71	107	7,11	0,60	1 900	415	9,85	0,74	389	16,3	0,49
800	135	6,14	0,72	126	7,87	0,59	2 000	448	10,2	0,74	419	17,1	0,49
900	155	6,54	0,72	146	8,61	0,58	2 100	478	10,4	0,75	450	17,8	0,48
1 000	177	6,92	0,72	167	9,37	0,58	2 200	511	10,7	0,75	482	18,6	0,47
1 100	200	7,28	0,72	188	10,1	0,57							

Примечание. Значения физических характеристик воздуха и дымовых газов при температуре свыше 1 600 °C определены приближенно линейной экстраполяцией опытных данных.

КОЭФФИЦИЕНТ ДИНАМИЧЕСКОЙ ВЯЗКОСТИ ВОДЫ И ВОДЯНОГО ПАРА $\mu \cdot 10^6, (\text{кгс} \cdot \text{сек})/\text{м}^2$											Таблица V	
t, °C	Давление p, кгс/см ²										Вода	Пар
	1	20	40	60	80	100	150	200	250	300	на кривой насыщения	
0	179	179	179	178	178	178	178	178	177	177	178,8	0,82
10	133	132	132	132	132	132	132	132	132	132	132,5	0,86
20	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102,1	0,90
30	81,3	81,3	81,3	81,3	81,3	81,3	81,3	81,3	81,3	81,2	81,3	0,94
40	66,4	66,4	66,4	66,5	66,5	66,5	66,5	66,5	66,6	66,6	66,4	0,98
50	55,5	55,5	55,5	55,5	55,6	55,6	55,6	55,7	55,7	55,8	55,5	1,03
60	47,2	47,2	47,3	47,3	47,3	47,4	47,4	47,5	47,6	47,6	47,2	1,07
70	40,8	40,9	40,9	40,9	41,0	41,0	41,1	41,1	41,2	41,3	40,8	1,11
80	35,8	35,8	35,9	35,9	35,9	36,0	36,1	36,1	36,2	36,3	35,8	1,15
90	31,7	31,8	31,8	31,9	31,9	31,9	32,0	32,1	32,2	32,3	31,7	1,19
100	1,23	28,5	28,5	28,6	28,6	28,6	28,7	28,8	28,9	29,0	28,5	1,23
110	1,28	25,8	25,8	25,8	25,9	25,9	26,0	26,1	26,2	26,3	25,7	1,26
120	1,32	23,5	23,5	23,6	23,6	23,7	23,8	23,9	24,0	24,1	23,5	1,30
130	1,36	21,6	21,6	21,6	21,7	21,7	21,8	21,9	22,1	22,2	21,5	1,35
140	1,40	19,9	20,0	20,0	20,0	20,1	20,2	20,3	20,4	20,5	19,9	1,38
150	1,44	18,5	18,5	18,6	18,6	18,7	18,8	18,9	19,0	19,1	18,5	1,42
160	1,48	17,3	17,3	17,4	17,4	17,4	17,6	17,7	17,8	17,9	17,2	1,45
170	1,53	16,2	16,2	16,3	16,3	16,4	16,5	16,6	16,7	16,8	16,2	1,49
180	1,57	15,2	15,3	15,3	15,4	15,4	15,6	15,7	15,8	15,9	15,2	1,52
190	1,61	14,4	14,4	14,5	14,5	14,6	14,7	14,8	14,9	15,1	14,4	1,56
200	1,65	13,7	13,7	13,7	13,8	13,8	14,0	14,1	14,2	14,3	13,6	1,59
210	1,69	13,0	13,0	13,1	13,1	13,2	13,3	13,4	13,5	13,6	13,0	1,63
220	1,73	1,7	12,4	12,5	12,5	12,6	12,7	12,8	12,9	13,0	12,4	1,66
230	1,78	1,7	11,9	11,9	12,0	12,0	12,1	12,3	12,4	12,5	11,8	1,70
240	1,82	1,78	11,4	11,4	11,5	11,5	11,6	11,8	11,9	12,0	11,4	1,74
250	1,86	1,82	10,9	10,9	11,0	11,1	11,2	11,3	11,4	11,5	10,9	1,77
260	1,90	1,87	1,84	10,5	10,6	10,6	10,8	10,9	11,0	11,1	10,5	1,82
270	1,94	1,92	1,89	10,1	10,2	10,2	10,4	10,5	10,6	10,7	10,1	1,86
280	1,98	1,96	1,94	1,9	9,8	9,9	10,0	10,1	10,3	10,4	9,8	1,91
290	2,02	2,01	2,00	2,0	9,5	9,5	9,7	9,8	9,9	10,0	9,5	1,97

Продолжение табл. V

t, °C	Давление p, кгс/см ²												Вода	Пар
	1	20	40	60	80	100	150	200	250	300	350	400	на кривой насыщения	
300	2,06	2,06	2,05	2,04	2,03	9,2	9,35	9,47	9,60	9,73	9,85	9,98	9,2	2,02
310	2,11	2,10	2,10	2,10	2,10	8,8	8,96	9,12	9,26	9,39	9,52	9,64	8,8	2,09
320	2,15	2,15	2,16	2,16	2,17	2,17	8,56	8,74	8,90	9,04	9,18	9,31	8,5	2,18
330	2,19	2,20	2,21	2,23	2,23	2,25	8,14	8,35	8,52	8,68	8,83	8,97	8,1	2,30
340	2,23	2,24	2,26	2,28	2,30	2,33	7,61	7,91	8,12	8,31	8,47	8,63	7,6	2,43
350	2,27	2,29	2,31	2,33	2,36	2,40	2,52	7,39	7,68	7,92	8,11	8,28	7,1	2,61
360	2,31	2,34	2,36	2,39	2,42	2,46	2,58	6,69	7,18	7,49	7,73	7,93	6,6	2,88

Продолжение табл. V

$t, ^\circ\text{C}$	Давление $p, \text{кгс/см}^2$												Вода	Пар
	1	20	40	60	80	100	150	200	250	300	350	400	на кривой насыщения	
370	2,36	2,38	2,40	2,43	2,47	2,51	2,63	2,96	6,53	7,01	7,33	7,57	5,7	3,42
380	2,40	2,42	2,45	2,48	2,51	2,55	2,67	2,90	5,29	6,38	6,83	7,14	—	—
390	2,44	2,46	2,49	2,52	2,55	2,58	2,70	2,89	3,41	5,62	6,35	6,77	—	—
400	2,48	2,50	2,53	2,56	2,59	2,62	2,73	2,90	3,22	4,45	5,75	6,33	—	—
410	2,52	2,54	2,57	2,60	2,63	2,66	2,76	2,91	3,16	3,75	5,02	5,83	—	—
420	2,56	2,58	2,61	2,64	2,67	2,70	2,79	2,93	3,13	3,52	4,34	5,28	—	—
430	2,60	2,63	2,65	2,68	2,70	2,74	2,83	2,95	3,13	3,42	3,96	4,76	—	—
440	2,65	2,67	2,69	2,72	2,74	2,77	2,86	2,98	3,13	3,37	3,76	4,36	—	—
450	2,69	2,71	2,73	2,76	2,78	2,81	2,90	3,00	3,15	3,35	3,65	4,10	—	—
460	2,73	2,75	2,77	2,80	2,82	2,85	2,93	3,03	3,16	3,34	3,59	3,94	—	—
470	2,77	2,79	2,81	2,84	2,86	2,89	2,97	3,06	3,18	3,34	3,56	3,85	—	—
480	2,81	2,83	2,85	2,88	2,90	2,93	3,00	3,10	3,21	3,35	3,54	3,79	—	—
490	2,85	2,87	2,90	2,92	2,94	2,97	3,04	3,13	3,24	3,37	3,54	3,75	—	—
500	2,90	2,92	2,94	2,96	2,98	3,01	3,08	3,16	3,26	3,39	3,54	3,73	—	—
510	2,94	2,96	2,98	3,00	3,02	3,05	3,12	3,20	3,29	3,41	3,55	3,72	—	—
520	2,98	3,00	3,02	3,04	3,06	3,09	3,15	3,23	3,32	3,43	3,56	3,72	—	—
530	3,02	3,04	3,06	3,08	3,10	3,13	3,19	3,27	3,35	3,46	3,58	3,72	—	—
540	3,06	3,08	3,10	3,12	3,14	3,17	3,23	3,30	3,39	3,48	3,60	3,73	—	—
550	3,10	3,12	3,14	3,16	3,18	3,21	3,27	3,34	3,42	3,51	3,62	3,74	—	—
560	3,14	3,16	3,18	3,20	3,22	3,25	3,31	3,38	3,45	3,54	3,64	3,76	—	—
570	3,18	3,20	3,22	3,24	3,26	3,29	3,34	3,41	3,49	3,57	3,67	3,78	—	—
580	3,23	3,24	3,26	3,28	3,30	3,33	3,38	3,45	3,52	3,60	3,70	3,80	—	—
590	3,27	3,29	3,30	3,32	3,34	3,37	3,42	3,49	3,56	3,64	3,72	3,82	—	—
600	3,31	3,33	3,35	3,36	3,38	3,41	3,46	3,52	3,59	3,67	3,75	3,85	—	—
650	3,52	3,53	3,55	3,57	3,59	3,61	3,66	3,71	3,77	3,84	3,91	3,99	—	—
700	3,72	3,74	3,76	3,77	3,79	3,81	3,86	3,91	3,96	4,02	4,08	4,15	—	—

КОЭФФИЦИЕНТ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ВОДЫ И ВОДЯНОГО ПАРА
 $\lambda \cdot 10^2, \text{ккал/(м} \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C)}$

Таблица VI

$t, ^\circ\text{C}$	Давление $p, \text{кгс/см}^2$										Вода	Пар
	1	20	40	60	80	100	150	200	250	300	на кривой насыщения	
0	48,9	49,0	49,2	49,3	49,5	49,6	49,9	50,3	50,6	50,9	48,9	1,51
10	50,4	50,6	50,8	50,9	51,0	51,2	51,5	51,8	52,2	52,5	50,4	1,56
20	51,7	52,0	52,2	52,3	52,4	52,6	52,9	53,3	53,6	53,9	51,8	1,62
30	53,0	53,3	53,4	53,6	53,7	53,9	54,2	54,5	54,8	55,1	53,0	1,67
40	54,2	54,4	54,6	54,7	54,9	55,0	55,3	55,6	56,0	56,2	54,2	1,73
50	55,3	55,4	55,6	55,7	55,9	56,0	56,3	56,6	56,9	57,2	55,3	1,80
60	56,2	56,3	56,5	56,6	56,7	56,9	57,2	57,5	57,8	58,0	56,2	1,86
70	56,9	57,1	57,2	57,3	57,5	57,6	57,9	58,2	58,5	58,8	56,9	1,92
80	57,5	57,7	57,8	58,0	58,1	58,2	58,5	58,8	59,1	59,4	57,5	1,99
90	58,0	58,2	58,4	58,5	58,6	58,7	59,0	59,3	59,6	59,8	58,0	2,06
100	2,10	58,6	58,8	58,9	59,0	59,1	59,4	59,7	60,0	60,2	58,5	2,13
110	2,17	58,9	59,1	59,2	59,3	59,4	59,7	60,0	60,2	60,5	58,7	2,22
120	2,24	59,1	59,3	59,4	59,5	59,6	59,9	60,1	60,4	60,7	58,9	2,30
130	2,31	59,2	59,3	59,5	59,6	59,7	60,0	60,2	60,5	60,8	59,1	2,39
140	2,38	59,2	59,3	59,4	59,6	59,7	60,0	60,2	60,5	60,8	59,1	2,48

Таблицы

Продолжение табл. VI

t, °C	Давление p, кгс/см²										Вода	Пар
	1	20	40	60	80	100	150	200	250	300	на кривой насыщения	
150	2,46	59,1	59,2	59,4	59,5	59,6	59,9	60,1	60,4	60,7	59,0	2,58
160	2,53	58,9	59,0	59,2	59,3	59,4	59,7	60,0	60,3	60,5	58,8	2,69
170	2,61	58,6	58,8	58,9	59,0	59,1	59,4	59,7	60,0	60,3	58,6	2,80
180	2,69	58,2	58,4	58,5	58,6	58,8	59,1	59,4	59,7	60,0	58,1	2,93
190	2,77	57,8	57,9	58,0	58,2	58,3	58,6	59,0	59,3	59,6	57,7	3,07
200	2,85	57,2	57,3	57,5	57,6	57,8	58,1	58,5	58,8	59,2	57,1	3,22
210	2,93	56,5	56,7	56,8	57,0	57,1	57,5	57,9	58,3	58,7	56,5	3,39
220	3,01	3,42	55,9	56,1	56,3	56,4	56,9	57,3	57,7	58,1	55,7	3,57
230	3,10	3,45	55,0	55,2	55,4	55,6	56,1	56,6	57,0	57,4	54,9	3,78
240	3,18	3,50	54,1	54,3	54,5	54,7	55,3	55,8	56,3	56,7	54,1	4,00
250	3,27	3,55	4,22	53,2	53,5	53,7	54,3	54,9	55,4	56,0	53,0	4,26
260	3,36	3,61	4,18	52,1	52,4	52,6	53,3	54,0	54,5	55,1	51,9	4,54
270	3,45	3,68	4,16	50,7	51,1	51,4	52,2	52,9	53,6	54,2	50,6	4,87
280	3,54	3,76	4,18	4,93	49,7	50,0	50,9	51,7	52,5	53,2	49,3	5,24
290	3,63	3,83	4,20	4,83	48,1	48,5	49,5	50,4	51,3	52,0	47,9	5,63

Продолжение табл. VI

t, °C	Давление p, кгс/см²												Вода	Пар
	1	20	40	60	80	100	150	200	250	300	350	400	на кривой насыщения	
300	3,73	3,92	4,25	4,78	5,67	46,8	48,0	49,0	50,0	50,8	51,6	52,3	46,4	6,18
310	3,82	4,01	4,31	4,76	5,49	6,67	46,2	47,4	48,5	49,5	50,4	51,1	44,9	6,80
320	3,92	4,10	4,37	4,78	5,38	6,34	44,3	45,7	46,9	48,0	49,0	49,9	43,3	7,55
330	4,01	4,19	4,44	4,81	5,32	6,09	42,1	43,7	45,1	46,4	47,5	48,5	41,5	8,50
340	4,11	4,29	4,52	4,85	5,30	5,93	39,6	41,4	43,1	44,5	45,8	47,0	39,6	9,72
350	4,21	4,38	4,61	4,91	5,30	5,85	8,61	38,9	40,8	42,5	44,0	45,3	37,4	11,2
360	4,31	4,47	4,69	4,97	5,32	5,80	7,94	35,3	38,1	40,0	41,6	43,1	34,5	12,9
370	4,41	4,57	4,78	5,05	5,39	5,78	7,52	12,1	34,5	37,3	39,3	41,0	29,1	15,7
380	4,51	4,67	4,87	5,12	5,42	5,79	7,26	10,7	33,8	36,6	38,6	40,0	—	—
390	4,61	4,77	4,96	5,19	5,48	5,82	7,08	9,78	33,3	36,0	38,0	40,0	—	—
400	4,71	4,87	5,06	5,28	5,54	5,86	6,98	9,11	32,9	35,3	37,3	39,3	—	—
410	4,82	4,97	5,16	5,37	5,62	5,91	6,92	8,57	32,4	34,8	36,8	38,8	—	—
420	4,92	5,08	5,26	5,46	5,70	5,97	6,88	8,30	31,9	34,3	36,3	38,3	—	—
430	5,03	5,19	5,36	5,56	5,78	6,04	6,87	8,11	31,4	33,8	35,8	37,8	—	—
440	5,13	5,28	5,46	5,65	5,87	6,12	6,88	7,99	30,9	33,3	35,3	37,3	—	—
450	5,24	5,40	5,56	5,75	5,96	6,20	6,91	7,91	30,4	32,8	34,8	36,8	—	—
460	5,35	5,50	5,67	5,85	6,05	6,28	6,96	7,86	30,0	32,3	34,3	36,3	—	—
470	5,46	5,61	5,77	5,96	6,15	6,36	7,01	7,84	29,5	31,8	33,8	35,8	—	—
480	5,57	5,71	5,88	6,06	6,25	6,46	7,07	7,85	29,1	31,3	33,3	35,3	—	—
490	5,68	5,83	5,99	6,16	6,35	6,56	7,14	7,86	28,6	30,8	32,8	34,8	—	—
500	5,79	5,94	6,10	6,27	6,45	6,65	7,21	7,90	28,2	30,3	32,3	34,3	—	—
510	5,90	6,05	6,21	6,38	6,55	6,75	7,29	7,95	27,7	29,8	31,8	33,8	—	—
520	6,01	6,16	6,31	6,48	6,66	6,85	7,38	8,00	27,3	29,3	31,3	33,3	—	—
530	6,12	6,27	6,43	6,60	6,77	6,95	7,47	8,06	26,8	28,8	30,8	32,8	—	—
540	6,23	6,38	6,54	6,71	6,88	7,06	7,56	8,13	26,4	28,4	30,4	32,4	—	—
550	6,35	6,49	6,65	6,82	6,99	7,16	7,65	8,21	26,0	28,0	30,0	32,0	—	—
560	6,46	6,61	6,76	6,92	7,09	7,26	7,74	8,29	25,6	27,6	29,6	31,6	—	—
570	6,58	6,72	6,88	7,04	7,20	7,38	7,84	8,36	25,2	27,2	29,2	31,2	—	—
580	6,69	6,84	6,99	7,15	7,31	7,48	7,94	8,45	24,8	26,8	28,8	30,8	—	—
590	6,81	6,95	7,10	7,26	7,43	7,59	8,04	8,54	24,4	26,4	28,4	30,4	—	—
600	6,92	7,07	7,22	7,38	7,54	7,70	8,15	8,64	24,0	26,0	28,0	30,0	—	—
650	7,51	7,65	7,80	7,96	8,12	8,28	8,69	9,14	23,6	25,6	27,6	29,6	—	—
700	8,11	8,24	8,39	8,55	8,70	8,85	9,25	9,67	23,2	25,2	27,2	29,2	—	—

КРИТЕРИЙ P_r ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВОДЫ И ВОДЯНОГО ПАРА

$t, ^\circ\text{C}$	Давление $p, \text{кгс/см}^2$										Таблица VII	
	1	20	40	60	80	100	150	200	250	300	Вода	Пар
											на кривой	насыщения
0	13,0	12,9	12,8	12,8	12,7	12,6	12,4	12,3	12,9	11,9	13,0	0,85
10	9,29	9,24	9,20	9,15	9,11	9,04	8,94	8,85	8,74	8,64	9,30	0,87
20	6,97	6,93	6,89	6,86	6,83	6,79	6,72	6,65	6,59	6,53	6,96	0,83
30	5,40	5,38	5,36	5,33	5,31	5,28	5,24	5,19	5,15	5,11	5,40	0,90
40	4,32	4,30	4,29	4,27	4,26	4,23	4,20	4,17	4,13	4,11	4,32	0,91
50	3,54	3,54	3,53	3,51	3,49	3,47	3,46	3,43	3,41	3,39	3,54	0,92
60	2,96	2,96	2,95	2,95	2,94	2,92	2,90	2,89	2,86	2,86	2,97	0,94
70	2,54	2,53	2,52	2,51	2,51	2,50	2,48	2,47	2,46	2,44	2,54	0,95
80	2,20	2,20	2,19	2,19	2,19	2,18	2,17	2,16	2,14	2,13	2,20	0,96
90	1,94	1,93	1,93	1,93	1,93	1,92	1,91	1,90	1,89	1,89	1,94	0,98
100	1,00	1,73	1,72	1,72	1,72	1,71	1,71	1,70	1,69	1,69	1,73	0,99
110	1,00	1,56	1,56	1,55	1,55	1,55	1,54	1,54	1,53	1,53	1,56	1,00
120	1,00	1,42	1,42	1,42	1,41	1,41	1,41	1,40	1,40	1,40	1,43	1,02
130	0,99	1,31	1,31	1,30	1,30	1,30	1,30	1,30	1,29	1,29	1,31	1,04
140	0,98	1,21	1,21	1,21	1,21	1,21	1,20	1,20	1,20	1,20	1,22	1,05
150	0,98	1,14	1,13	1,13	1,13	1,13	1,13	1,13	1,13	1,12	1,14	1,08
160	0,98	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,06	1,06	1,06	1,06	1,07	1,09
180	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,96	0,96	0,96	0,96	0,97	1,14
200	0,97	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,89	0,89	0,89	0,91	1,20
220	0,96	1,20	0,86	0,86	0,86	0,86	0,85	0,85	0,84	0,84	0,86	1,27
240	0,95	1,14	0,84	0,84	0,84	0,83	0,83	0,82	0,81	0,81	0,85	1,34
260	0,95	1,09	1,31	0,85	0,84	0,84	0,82	0,81	0,80	0,80	0,85	1,42
280	0,94	1,06	1,21	1,45	0,88	0,87	0,84	0,83	0,81	0,80	0,89	1,53

Продолжение табл. VII

t, °C	Давление p, кгс/см²												Продолжение табл. VI	
	1	20	40	60	80	100	150	200	250	300	350	400	Вода	Пар
													на кривой насыщения	
300	0,94	1,03	1,14	1,30	1,55	0,95	0,90	0,87	0,84	0,82	0,81	0,79	0,93	1,69
320	0,94	1,00	1,09	1,21	1,37	1,61	1,02	0,95	0,91	0,87	0,84	0,82	1,09	1,96
340	0,93	0,99	1,06	1,16	1,27	1,43	1,34	1,13	1,03	0,96	0,91	0,87	1,34	2,51
350	0,93	0,98	1,05	1,14	1,24	1,37	2,03	1,33	1,13	1,02	0,95	0,90	1,62	3,14
360	0,93	0,98	1,04	1,12	1,22	1,32	1,79	1,92	1,30	1,12	1,02	0,95	2,41	5,04
370	0,92	0,97	1,03	1,10	1,18	1,28	1,62	2,96	1,77	1,29	1,11	1,01	—	—
380	0,92	0,97	1,02	1,08	1,15	1,23	1,51	2,15	5,66	1,65	1,27	1,10	—	—
390	0,92	0,96	1,00	1,06	1,12	1,18	1,42	1,84	4,25	2,72	1,56	1,25	—	—
400	0,92	0,95	0,99	1,04	1,09	1,15	1,34	1,66	2,49	5,01	2,11	1,47	—	—
410	0,91	0,95	0,98	1,02	1,07	1,12	1,28	1,52	1,96	3,38	2,94	1,80	—	—
420	0,91	0,94	0,97	1,01	1,05	1,10	1,23	1,43	1,70	2,41	3,09	2,20	—	—
430	0,91	0,94	0,96	1,00	1,03	1,08	1,20	1,36	1,56	1,95	2,55	2,42	—	—
440	0,91	0,93	0,96	0,99	1,02	1,05	1,16	1,30	1,46	1,70	2,09	2,31	—	—
450	0,91	0,93	0,95	0,98	1,00	1,04	1,13	1,25	1,39	1,56	1,81	2,05	—	—
460	0,91	0,92	0,94	0,97	0,99	1,02	1,10	1,20	1,33	1,46	1,63	1,82	—	—
470	0,90	0,92	0,94	0,96	0,98	1,01	1,08	1,17	1,28	1,39	1,51	1,65	—	—
480	0,90	0,92	0,93	0,95	0,97	1,00	1,06	1,14	1,23	1,34	1,42	1,53	—	—
490	0,90	0,91	0,93	0,95	0,96	0,99	1,04	1,11	1,19	1,28	1,37	1,45	—	—
500	0,90	0,91	0,92	0,94	0,96	0,98	1,03	1,09	1,16	1,23	1,32	1,37	—	—
520	0,90	0,91	0,92	0,93	0,94	0,96	1,00	1,05	1,10	1,16	1,23	1,30	—	—
540	0,89	0,90	0,91	0,92	0,93	0,94	0,98	1,02	1,06	1,11	1,16	1,21	—	—
560	0,89	0,90	0,91	0,91	0,92	0,94	0,96	0,99	1,02	1,06	1,10	1,13	—	—
580	0,89	0,89	0,90	0,90	0,91	0,92	0,94	0,97	1,00	1,03	1,06	1,09	—	—
600	0,89	0,89	0,89	0,90	0,90	0,91	0,92	0,95	0,97	1,00	1,02	1,05	—	—
620	0,88	0,88	0,89	0,89	0,89	0,90	0,91	0,93	0,95	0,97	0,99	1,01	—	—
640	0,88	0,88	0,88	0,88	0,89	0,89	0,90	0,91	0,93	0,95	0,96	0,98	—	—
660	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,89	0,89	0,90	0,91	0,93	0,94	0,95	—	—
680	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,89	0,89	0,90	0,91	0,93	0,94	0,95	—	—
700	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,89	0,89	0,90	0,91	0,92	—	—

ФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГАЗООБРАЗНЫХ ТОПЛИВ

Таблица VIII

Топливо	Температура,										
	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
Коэффициент теплопроводности $\lambda \cdot 10^2$, ккал/(м·ч·°С)											
Газ доменных печей	2,13	2,77	3,39	3,99	4,57	5,14	5,70	6,25	6,79	7,32	7,84
Газ коксовых печей:											
очищенный	6,85	8,95	11,0	12,9	14,8	16,7	18,6	20,4	22,2	24,0	25,7
неочищенный	6,83	8,93	10,9	12,8	14,7	16,6	18,5	20,3	22,1	23,9	25,6
Природный газ из газопровода:											
Саратов—Москва	2,38	3,43	4,52	5,67	6,84	8,05	9,29	10,6	11,9	13,2	14,5
Дашава—Киев	2,51	3,62	4,77	5,98	7,21	8,49	9,79	11,1	12,4	13,8	15,2

Коэффициент кинематической вязкости $\nu \cdot 10^6$, м²/сек

Газ доменных печей	12,7	21,7	32,9	45,8	60,0	76,7	94,2	113	135	157	181
Газ коксовых печей:											
очищенный	25,9	44,2	66,7	92,9	122	156	193	233	273	319	368
неочищенный	24,6	41,6	64,1	89,2	117	149	185	223	264	307	353
Природный газ из газопровода:											
Саратов—Москва	12,2	21,1	32,3	45,0	60,2	77,0	95,7	117	138	161	186
Дашава—Киев	14,3	24,6	37,7	52,6	70,3	90,0	112	136	161	188	217

Коэффициент физических свойств Pr

Газ доменных печей	0,682	0,672	0,668	0,665	0,668	0,673	0,678	0,682	0,686	0,690	0,693
Газ коксовых печей:											
очищенный	0,425	0,430	0,440	0,454	0,465	0,475	0,483	0,493	0,500	0,507	0,514
неочищенный	0,420	0,429	0,440	0,455	0,467	0,477	0,486	0,495	0,503	0,510	0,517
Природный газ из газопровода:											
Саратов—Москва	0,709	0,708	0,738	0,768	0,792	0,816	0,832	0,842	0,849	0,856	0,863
Дашава—Киев	0,735	0,734	0,763	0,797	0,836	0,862	0,886	0,904	0,917	0,925	0,928

СРЕДНЯЯ ТЕПЛОЕМКОСТЬ ГОРЮЧИХ ГАЗОВ c , ккал/(м³·°С), ОТ 0 ДО t , °С

Таблица IX

t , °С	CO	H₂	CH₄	H₂S	C₂H₆	C₃H₈	C₄H₁₀	C₃H₁₂	t , °С	CO	H₂	CH₄	H₂S	C₂H₆	C₃H₈	C₄H₁₀	C₃H₁₂
0	0,310	0,305	0,370	0,360	0,528	0,728	0,986	1,225	600	0,324	0,312	0,540	0,408	0,902	1,297	1,699	2,098
100	0,311	0,308	0,392	0,366	0,586	0,838	1,124	1,394	700	0,328	0,313	0,568	0,417	0,952	1,367	1,788	2,205
200	0,312	0,310	0,420	0,373	0,663	0,947	1,255	1,556	800	0,331	0,314	0,596	0,426	0,999	1,430	1,865	2,299
300	0,314	0,310	0,450	0,381	0,727	1,044	1,379	1,704	900	0,334	0,316	0,622	0,434	1,042	1,488	1,938	2,386
400	0,317	0,311	0,481	0,390	0,790	1,137	1,497	1,849	1000	0,337	0,317	0,645	0,442	1,082	1,543	2,007	2,471
500	0,321	0,312	0,511	0,399	0,849	1,217	1,598	1,972									

ФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАЗУТОВ

Таблица X

Физические свойства	Размерность	Мазуты малосернистые		Мазуты средне- и высокосернистые			Стабилизированная нефть
		40	100	40	100	200	
Вязкость при 80 °С не более	•УВ	8,0	15,5	8,0	15,5	6,5—9,5*	2,5**
Плотность при 20 °С	г/см³	0,970	0,990	1,005	0,945	0,960	0,910
Температура вспышки не ниже	°С	90	110	90	110	140	20
Температура застывания не выше	°С	10	25	10	25	36	—15

* При 100 °С.

** При 50 °С

КОЭФФИЦИЕНТ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ МАЗУТОВ, ккал/(м·ч·°С) | Таблица Xa

Марка мазута	Температура, °С				
	30	40	50	60	70
20	0,103	0,102	0,101	0,099	0,098
40 и 100	0,116	0,115	0,114	0,113	0,112

Объемы воздуха и продуктов сгорания твердых и жидких топлив, $\text{м}^3/\text{кг}$,
при $\alpha = 1$, 0°C и 760 мм рт. ст.

Таблица XI

Республика, край, область	Бассейн, месторождение	Марка топлива	Класс или продукт обогащения	V^0	$V_{\text{RO}_2}^0$	$V_{\text{N}_2}^0$	$V_{\text{H}_2\text{O}}^0$	V_{r}^0
Угли								
1. СССР, Донецкая и Луганская обл. и РСФСР, Ростовская обл.	Донецкий	Д	Р	5,16	0,94	4,08	0,64	5,67
2. То же	То же	Д	Отсев	4,78	0,86	3,78	0,63	5,27
3. " "	" "	Г	Р	5,83	1,05	4,61	0,61	6,28
4. " "	" "	Г	Отсев	5,19	0,94	4,11	0,60	5,65
5. " "	" "	Г	Промпродукт мокрого обогащения	4,66	0,84	3,69	0,53	5,06
6. " "	" "	Т	Р	6,43	1,19	5,09	0,51	6,79
7. " "	" "	А	Ш, СШ	6,04	1,20	4,78	0,34	6,32
8. " "	" "	ПА	Р, отсев	6,64	1,26	5,25	0,46	6,97
9. " "	" "	Ж, К, ОС	Промпродукт мокрого обогащения	4,77	0,87	3,78	0,51	5,16
10. РСФСР, Кемеров- ская обл.	Кузнецкий:	Д	Р, СШ	6,02	1,10	4,77	0,71	6,58
11. То же	То же	Г	Р, СШ	6,88	1,24	5,45	0,74	7,42
12. " "	" "	1СС	Р, отсев	6,26	1,15	4,96	0,62	6,73
13. " "	" "	2СС	Р, СШ, отсев	6,52	1,20	5,16	0,60	6,97
14. " "	" "	Т	Р, отсев	6,83	1,28	5,41	0,53	7,22
15. " "	" "	Ж, К, ОС	Промпродукт мокрого обогащения	4,75	1,00	3,77	0,20	4,97
16. " "	Грамотеевский, Б-йдаев- ский, Колмогоровский углеразрезы	Г	Р, окисленный	6,00	1,11	4,75	0,71	6,58
17. " "	Кедровский, им. Вахруше- ва, Киселевский, № 8, Новосергеевский угле- разрезы	1СС, 2СС	Р, окисленный	6,81	1,27	5,39	0,63	7,29
18. " "	Краснобродский, Красно- горский, Листвянский углеразрезы	Т	Р, окисленный	6,54	1,23	5,18	0,56	6,97
19. " "	Томусинский № 3—4, № 7—8, Черниговский углеразрезы	1СС, 2СС	Р, окисленный	6,02	1,11	4,77	0,62	6,50
20. Казахская ССР	Карагандинский	К	Р	5,60	1,03	4,43	0,56	6,02
21. То же	То же	К	Промпродукт мокрого обогащения	4,32	0,79	3,41	0,49	4,70
22. " "	Экибастузский: Разрезы 1, 2, 3	СС	Р	4,42	0,81	3,50	0,48	4,79
23. " "	Разрез 5/6	СС	Р	4,20	0,77	3,33	0,46	4,56
24. " "	Куучекинское	СС	Р	4,30	0,80	3,41	0,44	4,65
25. " "	Ленгерское	БЗ	Р, отсев	4,42	0,85	3,49	0,72	5,06
26. РСФСР, Тульская, Смоленская, Кали- нинская, Калужская и Рязанская обл.	Подмосковный: в целом по бассейну	Б2	Р, ОМСШ	2,94	0,55	2,33	0,69	3,57
27. То же	Трест "Черепетьуголь"	Б2	Р, ОМСШ	2,65	0,50	2,10	0,67	3,27
28. Коми АССР	Печорский: Воркутинское	Ж	Р, отсев	6,15	1,12	4,87	0,59	6,58
29. То же	Интинское	Д	Р, отсев	4,88	0,91	3,87	0,57	5,35

Продолжение табл. XI

Республика, край, область	Бассейн, месторождение	Марка топлива	Класс или продукт обогащения	V^0	V_{RO_2}	$V_{N_2}^0$	$V_{H_2O}^0$	V^0_r
30. УССР, Львовская и Волынская обл.	Львовско-Волынский:							
	Волынское	Г	Р	5,75	1,05	4,55	0,63	6,23
31. То же	Межреченское	Г	Р	5,66	1,02	4,48	0,59	6,09
32. Башкирская АССР	Бабаевское	Б1	Р	2,65	0,48	2,09	1,01	3,58
33. РСФСР, Пермская обл.	Кизеловский	Г	Р, отсев КМ	5,33	0,95	4,22	0,56	5,73
34. То же	То же	Г	Промпродукт мокрого обогащения	4,21	0,76	3,33	0,47	4,56
35. РСФСР, Челябинская обл.	Челябинский:	Б3	Р, МСШ	3,74	0,70	2,96	0,59	4,26
36. РСФСР, Свердловская обл.	Егоршинское	ПА	Р	5,9	1,13	4,67	0,47	6,27
37. То же	Волчанское	Б3	Р	2,73	0,54	2,16	0,57	3,27
38. " "	Веселовское, Богословское	Б3	Р	2,86	0,56	2,27	0,60	3,43
39. Грузинская ССР	Ткварчельское	Ж	Промпродукт мокрого обогащения	4,48	0,80	3,55	0,57	4,92
40. То же	Ткибульское	Г	То же	4,71	0,86	3,73	0,63	5,22
41. Узбекская ССР	Ангренское	Б2	ОМ, СШ	3,81	0,75	3,01	0,71	4,47
42. Киргизская ССР	Кок-Янгак	Д	Р, ОМ, СШ	5,67	1,05	4,49	0,63	6,17
43. То же	Таш-Кумыр	Д	Р, СШ	4,87	0,91	3,85	0,62	5,39
44. " "	Сулокта	Б3	ОМ, СШ	4,79	0,94	3,79	0,64	5,37
45. " "	Кызыл-Кия	Б3	ОМ, СШ	4,3	0,83	3,40	0,68	4,92
46. " "	Кара-Киче	Б3	Р	5,28	1,03	4,18	0,66	5,87
47. Таджикская ССР	Шураб, шахта № 8	Б2	К, ОМ, СШ	4,47	0,89	3,53	0,68	5,10
48. То же	Шураб, шахта № 1/2	Б3	Р	4,63	0,89	3,66	0,67	5,22
49. РСФСР, Красноярский край	Канско-Ачинский: Ирша-Бородинское	Б2	Р	4,24	0,82	3,35	0,81	4,98
50. То же	Назаровское	Б2	Р	3,62	0,70	2,86	0,83	4,39
51. " "	Березовское	Б2	Р	4,26	0,83	3,37	0,81	5,01
52. " "	Боготольское	Б1	Р	3,31	0,64	2,62	0,87	4,13
53. " "	Абанское	Б2	Р	4,03	0,78	3,19	0,80	4,77
54. РСФСР, Кемеровская обл.	Итатское	Б1	Р	3,53	0,69	2,79	0,85	4,33
55. То же	Барандатское	Б2	Р	4,06	0,78	3,21	0,85	4,84
56. РСФСР, Красноярский край	Минусинский: Черногорское	Д	Р	5,54	1,03	4,39	0,67	6,09
57. РСФСР, Иркутская обл.	Черемховское, Забитуйское	Д	Р, отсев	4,72	0,86	3,74	0,61	5,21
58. То же	Азейское	Б3	Р	4,59	0,86	3,63	0,75	5,25
59. " "	Мугунское	Б3	Р	4,78	0,88	3,79	0,76	5,43
60. Бурятская АССР	Гусиноозерское	Б3	Р	4,39	0,82	3,47	0,72	5,01
61. То же	Холбольтжинское	Б3	Р	4,53	0,87	3,58	0,71	5,16
62. " "	Баянгольское	Д	Р	4,83	0,89	3,82	0,74	5,45
63. РСФСР, Читинская обл.	Букачачинское	Г	Р	7,01	1,27	5,54	0,73	7,54
64. То же	Черновское	Б2	Р	4,22	0,80	3,34	0,79	4,94
65. " "	Татауровское	Б2	Р	4,06	0,78	3,21	0,79	4,78

Республика, край, область	База, месторождение	Марка топлива	Класс или продукт обогащения	V^0	$V_{RO_2}^0$	$V_{N_2}^0$	$V_{H_2O}^0$	V_{Γ}^0
66. РСФСР, Читинская обл.	Харанорское	Б1	Р	3,48	0,68	2,75	0,81	4,24
67. РСФСР, Хабаровский край	Райчихинское	Б2	К, О, МСШ, Р	3,56	0,71	2,82	0,78	4,30
68. То же	То же	Б1	Р, окисленный	2,85	0,59	2,25	0,82	3,66
69. " "	Ургальское	Г	Р	5,25	0,95	4,15	0,58	5,68
70. РСФСР, Приморский край	Липовецкое	Д	Р, СШ	4,75	0,86	3,75	0,55	5,17
71. То же	Сучанский:	Г ₆	Р	5,08	0,93	4,02	0,50	5,46
72. " "	То же	Ж ₆	Р	5,37	0,99	4,24	0,51	5,74
73. " "	" "	Т	Р	6,41	1,21	5,07	0,49	6,77
74. " "	Подгородненское	Т	Р	4,91	0,91	3,88	0,42	5,21
75. " "	Артемовское	Б3	Р, СШ	3,55	0,67	2,81	0,68	4,15
76. " "	Тавричанское	Б3	ОМ, СШ	4,53	0,83	3,59	0,63	5,06
77. " "	Реттиховское	Б1	К, ОМ, СШ	2,71	0,51	2,14	0,83	3,48
78. " "	Чихезское	Б1	Р	2,99	0,57	2,37	0,86	3,8
79. " "	Бикинское	Б2	Р	2,64	0,50	2,09	0,76	3,35
80. Якутская АССР	Джебарик-Хая	Д	Р	6,08	1,13	4,81	0,70	6,64
81. То же	Нерюнгринское	СС	Р	6,51	1,23	5,15	0,59	6,97
82. " "	Сангарское	Д	Р	6,37	1,14	5,04	0,75	6,93
83. " "	Чульмаканское	Ж	Р	6,17	1,10	4,89	0,65	6,64
84. РСФСР, Магаданская обл.	Нижне-Аркагагинское	Д	Р	6,02	1,10	4,77	0,76	6,63
85. То же	Верхне-Аркагагинское	Д	Р	4,90	0,94	3,88	0,69	5,51
86. " "	Анадырское	Д	Р	5,11	0,94	4,04	0,79	5,76
87. РСФСР, Южный Сахалин	—	Д	Р, ОМ, СШ	5,32	0,96	4,21	0,67	5,85
88. То же	—	Г	Р, КО, МСШ, КОМСШ	6,70	1,20	5,30	0,75	7,25
89. " "	—	Б3	Р	4,36	0,81	3,45	0,70	4,96
Сланцы горючие								
90. Эстонская ССР	Шахты и разрез „Вивиконд“	—	Энергетический мелкий	2,89	0,53	2,29	0,55	3,37
91. То же	Разрезы № 1, „Сиргола“ и „Вивиконд“	—	Энергетический	2,49	0,48	1,97	0,49	2,94
92. РСФСР, Ленинградская обл.	—	—	Крупный, средний, мелкий	2,51	0,48	1,98	0,48	2,94
93. РСФСР, Куйбышевская обл.	Кашпирское	—	—	1,65	0,33	1,30	0,44	2,07
94. Торф	—	Фрезерный	—	2,38	0,46	1,89	0,95	3,30
95. Дрова	—	—	—	2,81	0,57	2,23	0,95	3,75
Жидкие топлива								
96. Мазут	—	—	Малосернистый	10,62	1,58	8,39	1,51	11,48
97. Мазут	—	—	Сернистый	10,45	1,57	8,25	1,45	11,28
98. Мазут	—	—	Высокосернистый	10,20	1,57	8,06	1,36	10,99
99. Стабилизированная нефть	—	—	—	10,48	1,55	8,28	1,52	11,35

Объемы воздуха и продуктов сгорания газообразных топлив, $\text{м}^3/\text{м}^3$, при $\alpha = 1, 0^\circ\text{C}$ и 760 мм рт. ст.

Таблица XII

Газопровод		V^0	$V_{\text{RO}_2}^0$	$V_{\text{N}_2}^0$	$V_{\text{H}_2\text{O}}^0$	V_{r}^0
I. Природные газы						
1. Саратов — Москва		9,52	1,04	7,60	2,10	10,73
2. Первомайск — Сторожовка		7,51	0,82	6,24	1,64	8,70
3. Саратов — Горький		9,57	1,03	7,59	2,13	10,75
4. Ставрополь — Москва (I нитка)		9,58	1,02	7,60	2,14	10,76
5. Ставрополь — Москва (II нитка)		9,68	1,04	7,67	2,16	10,86
6. Ставрополь — Москва (III нитка)		9,81	1,06	7,78	2,18	11,01
7. Серпухов — Ленинград		10,00	1,08	7,93	2,21	11,22
8. Гоголево — Полтава		8,26	0,87	6,66	1,86	9,39
9. Дашава — Киев		9,52	1,00	7,52	2,15	10,68
10. Рудки — Минск — Вильнюс и Рудки — Самбор		9,45	1,00	7,49	2,12	10,62
11. Угерско — Стрый, Угерско — Гнездици — Киев, Угерско — Львов		9,43	0,99	7,46	2,13	10,59
12. Брянск — Москва		9,91	1,06	7,84	2,20	11,11
13. Шебелинка — Острожжск, Шебелинка — Днепропетровск, Шебелинка — Харьков		9,96	1,07	7,88	2,21	11,16
14. Шебелинка — Брянск — Москва		9,98	1,07	7,90	2,22	11,19
15. Кумертау — Ишимбай — Магнитогорск		9,74	1,06	7,79	2,13	10,98
16. Промысловка — Астрахань		9,32	0,98	7,38	2,11	10,47
17. Газли — Коган		9,72	1,04	7,69	2,18	10,91
18. Хаджи-Абад — Фергана		10,03	1,09	7,97	2,20	11,26
19. Джаркак — Ташкент		9,74	1,04	7,70	2,18	10,92
20. Газли — Коган — Ташкент		9,64	1,03	7,64	2,16	10,83
21. Ставрополь — Невинномысск — Грозный		9,47	1,00	7,49	2,14	10,63
22. Карабулак — Грозный		12,21	1,41	9,68	2,54	13,63
23. Саушино — Лог — Волгоград		9,32	0,98	7,39	2,10	10,48
24. Коробки — Лог — Волгоград		9,51	1,02	7,54	2,13	10,69
25. Коробки — Жирное — Камыши		10,95	1,22	8,68	2,35	12,25
26. Карадаг — Тбилиси — Ереван		9,85	1,05	7,79	2,19	11,04
27. Бухара — Урал		9,73	1,04	7,70	2,18	10,91
28. Уршик — Сторожовка		9,7	1,04	7,70	2,16	10,89
29. Лиево — Кологривовка — Вольск		9,81	1,05	7,77	2,18	11,0
30. Средняя Азия — Центр		9,91	1,07	7,84	2,21	11,11
31. Игрим-Пунга — Серов — Нижний Тагил		9,68	1,03	7,66	2,17	10,86
32. Оренбург — Совхозное		10,05	1,08	7,94	2,23	11,25
II. Попутные газы						
Производственное объединение	Газопровод					
33. Пермьнефть	Каменный Лог — Пермь	11,13	1,31	9,03	2,24	12,58
34. То же	Ярино — Пермь	12,33	1,47	9,93	2,46	13,86
35. Куйбышевнефть	Кулешовка — Куйбышев	10,99	1,26	8,82	2,28	12,37
36. То же	Беленчук — Чапаевск	12,46	1,48	10,01	2,49	13,98
37. Туркменнефть	Барса-Гельмес — Вышка — Небит-Даг, Кызыл-Кум — Кум-Даг — Небит-Даг, Котур-Тепе — Челекен и др.	10,11	1,09	7,99	2,24	11,32
38. Краснодарнефтегаз	На входе в г. Краснодар, Крымск и Новороссийск	10,16	1,11	8,03	2,24	11,38
39. Грознефть	Вознесенская — Грозный, Карабулак — Грозный, Хаян-Корт — Солёная балка	12,40	1,40	9,79	2,60	13,80
40. Ухтаксминат	Тзбук — Сосновка	11,85	1,39	9,53	2,40	13,33
41. Баи нефтегаз	Туймазы — Уфа	11,28	1,30	9,08	2,32	12,70
42. То же	Шкапово — Туймазы	9,65	1,11	7,89	1,99	10,99
43. Татарская АССР, Минибиевский ГПЗ	Казань — Бугульма — Лениногорск — Альметьевск — Занская и Уруссиная ГРЭС	10,69	1,22	8,60	2,23	12,05
44. Азербайджанская ССР, Карадагский ГЕЗ		9,89	1,05	7,81	2,21	11,08
III. Промышленные газы						
45. Газ доменных печей, работающих на коксе с доставкой природного газа		0,78	0,40	1,17	0,07	1,63
46. Газ коксовых печей		4,31	0,89	3,44	1,22	5,05

Энтальпии 1 м^3 , воздуха и газов и 1 кг золы

Таблица XIII

$\theta, ^\circ\text{C}$	$(с\theta)_{\text{CO}_2}$ ккал/ м^3	$(с\theta)_{\text{N}_2}$ ккал/ м^3	$(с\theta)_{\text{O}_2}$ ккал/ м^3	$(с\theta)_{\text{H}_2\text{O}}$ ккал/ м^3	$(с\theta)_{\text{r}}$ ккал/ м^3	$(с\theta)_{\text{зп}}$ ккал/кг	$\theta, ^\circ\text{C}$	$(с\theta)_{\text{CO}_2}$ ккал/ м^3	$(с\theta)_{\text{N}_2}$ ккал/ м^3	$(с\theta)_{\text{O}_2}$ ккал/ м^3	$(с\theta)_{\text{H}_2\text{O}}$ ккал/ м^3	$(с\theta)_{\text{r}}$ ккал/ м^3	$(с\theta)_{\text{зп}}$ ккал/кг
100	40,6	31	31,5	36	31,6	19,3	1 200	649	405	430	509	419	288
200	85,4	62,1	63,8	72,7	63,6	40,4	1 300	711	442	469	560	457	325
300	133,5	93,6	97,2	110,5	96,2	63	1 400	774	480	508	611	496	378
400	184,4	125,8	131,6	149,6	129,4	86	1 500	837	517	548	664	535	420
500	238	158,6	167	189,8	163,4	109,5	1 600	900	555	588	717	574	448
600	292	192	203	231	198,2	133,8	1 700	964	593	628	771	613	493
700	349	226	240	274	224	158,2	1 800	1 028	631	668	826	652	522
800	407	261	277	319	270	183,2	1 900	1 092	670	709	881	692	570
900	466	297	315	364	306	209	2 000	1 157	708	750	938	732	600
1 000	526	333	353	412	343	235	2 100	1 222	747	790	994	772	—
1 100	587	369	391	460	381	262	2 200	1 287	786	832	1 051	812	—

Энтальпии воздуха и продуктов сгорания на 1 кг твердых

Республика, край область	Бассейн, место- рождение	Марка топлива	Класс или продукт обогащения	Энталь- пия	Температура, °C								
					100	200	300	400	500	600	700	800	
Угли													
1. СССР, Донецкая и Луганская обл. и РСФСР, Рос- товская обл.	Донецкий	Д	Р	I_{Γ}^0	188	381	579	784	994	1 208	1 428	1 654	
				$I_{\text{в}}^0$	163	328	496	668	843	1 023	1 207	1 393	
2. То же	То же	Д	Отсев	I_{Γ}^0	175	354	539	729	924	1 123	1 328	1 539	
				$I_{\text{в}}^0$	151	304	460	618	781	947	1 118	1 290	
3. " "	" "	Г	Р	I_{Γ}^0	208	421	640	866	1 099	1 335	1 578	1 828	
				$I_{\text{в}}^0$	184	371	561	754	952	1 155	1 364	1 573	
4. " "	" "	Г	Отсев	I_{Γ}^0	187	379	576	780	989	1 201	1 420	1 646	
				$I_{\text{в}}^0$	164	330	499	672	848	1 029	1 215	1 402	
5. " "	" "	Г	Промпродукт мокрого обогаще- ния	I_{Γ}^0	168	340	517	699	887	1 077	1 274	1 476	
				$I_{\text{в}}^0$	147	297	449	603	762	924	1 091	1 259	
6. " "	" "	Т	Р	I_{Γ}^0	224	455	691	936	1 187	1 442	1 705	1 975	
				$I_{\text{в}}^0$	203	409	619	832	1 051	1 275	1 505	1 737	
7. " "	" "	А	Ш, СШ	I_{Γ}^0	209	424	645	873	1 108	1 346	1 591	1 844	
				$I_{\text{в}}^0$	191	384	581	782	987	1 198	1 414	1 631	
8. " "	" "	ПА	Р, отсев	I_{Γ}^0	230	467	710	962	1 220	1 482	1 752	2 030	
				$I_{\text{в}}^0$	210	422	639	859	1 085	1 316	1 554	1 793	
9. " "	" "	Ж, К, ОС	Промпродукт мокрого обогаще- ния	I_{Γ}^0	171	346	526	711	902	1 096	1 296	1 502	
				$I_{\text{в}}^0$	151	309	459	618	780	946	1 117	1 289	
10. РСФСР, Кеме- ровская обл.	Кузнецкий	Д	Р, СШ	I_{Γ}^0	218	442	672	909	1 153	1 401	1 657	1 919	
				$I_{\text{в}}^0$	190	383	579	779	984	1 193	1 409	1 626	
11. То же	То же	Г	Р, СШ	I_{Γ}^0	245	496	755	1 022	1 293	1 574	1 861	2 156	
				$I_{\text{в}}^0$	217	437	660	888	1 122	1 361	1 606	1 853	
12. " "	" "	1СС	Р, отсев	I_{Γ}^0	223	452	687	929	1 179	1 432	1 693	1 962	
				$I_{\text{в}}^0$	198	398	603	811	1 024	1 242	1 466	1 691	
13. " "	" "	2СС	Р, СШ, отсев	I_{Γ}^0	231	467	710	961	1 219	1 482	1 752	2 029	
				$I_{\text{в}}^0$	206	415	627	844	1 066	1 293	1 526	1 761	
14. " "	" "	Т	Р, отсев	I_{Γ}^0	239	484	736	997	1 264	1 536	1 816	2 104	
				$I_{\text{в}}^0$	216	434	657	884	1 116	1 354	1 598	1 844	
15. " "	" "	Ж, К, ОС	Промпродукт мокрого обогаще- ния	I_{Γ}^0	165	334	509	689	874	1 063	1 256	1 455	
				$I_{\text{в}}^0$	150	302	457	615	777	942	1 113	1 284	
16. " "	Грамотеин- ский, Колмо- горовский, Байдаевский углеразрезы	Г	Р, окисленный	I_{Γ}^0	218	442	672	910	1 159	1 403	1 658	1 921	
				$I_{\text{в}}^0$	190	382	577	776	980	1 189	1 404	1 620	

в жидких топливах при $\alpha = 1$, ккал/кг

Таблица XIV

Температура, °C

900	1 000	1 100	1 200	1 300	1 400	1 500	1 600	1 700	1 800	1 900	2 000	2 100	2 200	2 300	2 400	2 500
1 886	2 120	2 356	2 593	2 835	3 082	3 327	3 576	3 826	4 077	4 332	4 585	4 841	5 098	5 354	5 612	5 870
1 579	1 770	1 966	2 162	2 358	2 560	2 761	2 962	3 163	3 365	3 571	3 777	3 984	4 190	4 401	4 610	4 819
1 754	1 972	2 191	2 412	2 637	2 867	3 095	3 326	3 559	3 793	4 030	4 265	4 504	4 744	4 982	5 222	5 462
1 462	1 639	1 820	2 002	2 183	2 370	2 556	2 742	2 928	3 115	3 306	3 497	3 688	3 879	4 074	4 267	4 461
2 084	2 343	2 602	2 864	3 131	3 404	3 674	3 948	4 223	4 500	4 781	5 060	5 342	5 626	5 907	6 191	6 475
1 783	1 999	2 220	2 442	2 663	2 891	3 118	3 345	3 572	3 800	4 033	4 266	4 500	4 732	4 970	5 206	5 442
1 876	2 109	2 343	2 578	2 819	3 065	3 308	3 555	3 803	4 053	4 306	4 557	4 812	5 067	5 321	5 577	5 833
1 589	1 781	1 979	2 175	2 373	2 575	2 778	2 980	3 182	3 385	3 593	3 800	4 008	4 216	4 428	4 638	4 848
1 682	1 891	2 101	2 312	2 528	2 749	2 966	3 188	3 411	3 634	3 861	4 087	4 315	4 544	4 772	5 001	5 231
1 427	1 599	1 777	1 954	2 131	2 313	2 495	2 677	2 859	3 040	3 227	3 414	3 600	3 787	3 977	4 166	4 355
2 251	2 530	2 810	3 092	3 380	3 675	3 965	4 260	4 557	4 855	5 157	5 457	5 762	6 066	6 369	6 674	6 980
1 968	2 206	2 451	2 695	2 940	3 190	3 441	3 692	3 943	4 194	4 451	4 708	4 966	5 223	5 485	5 746	6 006
2 102	2 362	2 623	2 886	3 155	3 429	3 700	3 975	4 252	4 529	4 810	5 089	5 372	5 656	5 938	6 221	6 505
1 849	2 072	2 302	2 532	2 761	2 997	3 233	3 468	3 704	3 940	4 181	4 423	4 665	4 906	5 153	5 398	5 642
2 314	2 600	2 888	3 178	3 474	3 776	4 074	4 377	4 682	4 988	5 298	5 606	5 918	6 231	6 542	6 855	7 168
2 032	2 277	2 530	2 782	3 034	3 293	3 552	3 811	4 070	4 329	4 595	4 860	5 126	5 392	5 663	5 931	6 200
1 712	1 924	2 138	2 352	2 572	2 796	3 018	3 243	3 469	3 696	3 927	4 156	4 389	4 621	4 853	5 086	5 319
1 461	1 637	1 819	2 000	2 182	2 368	2 554	2 740	2 926	3 112	3 303	3 494	3 685	3 876	4 071	4 264	4 457
2 188	2 460	2 733	3 007	3 289	3 575	3 859	4 147	4 437	4 728	5 023	5 317	5 614	5 912	6 208	6 507	6 806
1 842	2 065	2 294	2 523	2 752	2 986	3 221	3 456	3 691	3 926	4 167	4 407	4 648	4 889	5 135	5 379	5 623
2 458	2 763	3 069	3 377	3 692	4 014	4 332	4 655	4 981	5 307	5 638	5 967	6 301	6 635	6 967	7 302	7 637
2 101	2 355	2 615	2 876	3 137	3 405	3 673	3 940	4 208	4 476	4 750	5 025	5 300	5 574	5 854	6 132	6 410
2 236	2 514	2 792	3 073	3 359	3 652	3 941	4 235	4 531	4 827	5 128	5 427	5 730	6 034	6 336	6 640	6 945
1 917	2 149	2 387	2 625	2 863	3 107	3 352	3 596	3 840	4 085	4 335	4 586	4 836	5 087	5 343	5 596	5 850
2 313	2 600	2 888	3 178	3 474	3 777	4 076	4 379	4 685	4 991	5 303	5 612	5 925	6 239	6 551	6 865	7 179
1 996	2 237	2 485	2 733	2 981	3 235	3 490	3 744	3 998	4 253	4 514	4 775	5 036	5 297	5 563	5 827	6 091
2 399	2 696	2 994	3 295	3 602	3 915	4 225	4 539	4 856	5 173	5 495	5 815	6 139	6 464	6 786	7 111	7 437
2 090	2 343	2 602	2 862	3 121	3 388	3 654	3 921	4 187	4 453	4 726	5 000	5 273	5 546	5 825	6 101	6 378
1 659	1 865	2 071	2 279	2 491	2 707	2 920	3 137	3 356	3 574	3 796	4 016	4 239	4 463	4 684	4 908	5 132
1 455	1 631	1 812	1 992	2 172	2 358	2 544	2 729	2 915	3 100	3 290	3 480	3 671	3 861	4 055	4 247	4 440
2 190	2 462	2 736	3 011	3 292	3 579	3 863	4 152	4 442	4 733	5 029	5 323	5 621	5 919	6 217	6 515	6 814
1 836	2 058	2 286	2 514	2 742	2 976	3 210	3 444	3 678	3 912	4 152	4 392	4 632	4 872	5 117	5 360	5 602

Республика, край, область	Бассейн, месторождение	Марка топлива	Класс или продукт обогащения	С. нта- лия	Температура, °C							
					100	200	300	400	500	600	700	800
17. РСФСР, Кеме- ровская обл.	Кедровский, им. Вахру- шева, Кисе- левский, № 8, Новосергеев- ский, Бачат- ский угле- разрезы	1СС, 2СС	Р, окисленный	I_{Γ}^0 $I_{\text{в}}^0$	241 215	489 433	744 655	1 007 882	1 277 1 113	1 552 1 350	1 834 1 594	2 126 1 839
18. То же	Красноброд- ский, Красно- горский, Листвянский углерезы	Т	Р, окисленный	I_{Γ}^0 $I_{\text{в}}^0$	231 207	468 416	711 629	962 847	1 221 1 069	1 483 1 297	1 754 1 531	2 032 1 766
19. . .	Томусинские № 3—4, № 7—8, Чер- ниговский углеразрезы	1СС, 2СС	Р, окисленный	I_{Γ}^0 $I_{\text{в}}^0$	215 190	436 383	663 579	897 779	1 138 983	1 382 1 193	1 634 1 408	1 893 1 625
20. Казахская ССР	Карагандин- ский	К	Р	I_{Γ}^0 $I_{\text{в}}^0$	199 177	403 356	613 539	830 725	1 053 916	1 279 1 111	1 512 1 311	1 752 1 513
21. То же	То же	К	Промпродукт мокрого обогаще- ния	I_{Γ}^0 $I_{\text{в}}^0$	152 137	308 275	468 416	634 560	804 707	976 857	1 154 1 012	1 337 1 168
22. . .	Экибастуз- ский: Разрезы 1, 2, 3	СС	Р	I_{Γ}^0 $I_{\text{в}}^0$	159 140	322 281	489 425	662 572	840 722	1 021 876	1 207 1 034	1 398 1 193
23. . .	Разрезы 5/6	СС	Р	I_{Γ}^0 $I_{\text{в}}^0$	151 133	306 267	466 404	630 544	800 687	972 833	1 149 983	1 331 1 135
24. . .	Куучекин- ское	СС	Р	I_{Γ}^0 $I_{\text{в}}^0$	153 136	314 274	474 414	642 557	814 703	990 853	1 170 1 007	1 356 1 162
25. . .	Ленгерское	БЗ	Р, отсеv	I_{Γ}^0 $I_{\text{в}}^0$	169 140	342 281	520 425	704 571	893 722	1 085 875	1 284 1 033	1 483 1 192
26. РСФСР, Смо- ленская, Калинин- ская, Калужская, Рязанская и Туль- ская обл.	Подмосков- ный: в целом по бассейну	Б2	Р, ОМСШ	I_{Γ}^0 $I_{\text{в}}^0$	119 93	242 187	368 283	498 380	631 480	767 582	908 687	1 052 793
27. То же	Трест „Че- репетьуголь“	Б2	Р, ОМСШ	I_{Γ}^0 $I_{\text{в}}^0$	110 84	222 169	337 255	457 343	579 434	704 526	833 621	966 717
28. Коми АССР	Печорский: Воркутинское	Ж	Р, отсеv	I_{Γ}^0 $I_{\text{в}}^0$	218 194	441 391	670 592	907 793	1 150 1 005	1 398 1 219	1 652 1 440	1 914 1 661
29. То же	Интинское	Д	Р, отсеv	I_{Γ}^0 $I_{\text{в}}^0$	177 154	359 311	546 470	739 632	938 798	1 139 968	1 347 1 142	1 561 1 318
30. УССР, Во- тынская и Львовская обл.	Львовско- Волинский: Волинское	Г	Р	I_{Γ}^0 $I_{\text{в}}^0$	206 182	418 366	636 553	851 744	1 092 940	1 326 1 140	1 568 1 346	1 817 1 553

Продолжение табл. XIV

Температура, °C

900	1 000	1 100	1 200	1 300	1 400	1 500	1 600	1 700	1 800	1 900	2 000	2 100	2 200	2 300	2 400	2 500
2 423	2 723	3 026	3 329	3 640	3 957	4 270	4 588	4 909	5 230	5 556	5 879	6 207	6 538	6 863	7 192	7 522
2 085	2 337	2 596	2 855	3 113	3 379	3 645	3 911	4 176	4 442	4 714	4 987	5 259	5 532	5 810	6 086	6 361
2 316	2 603	2 892	3 182	3 479	3 782	4 080	4 385	4 690	4 997	5 309	5 617	5 931	6 245	6 557	6 871	7 188
2 002	2 244	2 493	2 741	2 290	3 245	3 500	3 755	4 011	4 266	4 527	4 789	5 051	5 313	5 580	5 845	6 109
2 158	2 426	2 625	2 966	3 243	3 525	3 804	4 088	4 374	4 660	4 951	5 240	5 532	5 826	6 117	6 411	6 705
1 842	2 064	2 293	2 522	2 750	2 985	3 219	3 455	3 689	3 924	4 165	4 406	4 646	4 887	5 133	5 376	5 620
1 997	2 245	2 494	2 745	3 001	3 262	3 520	3 783	4 047	4 312	4 581	4 848	5 119	5 390	5 659	5 931	6 203
1 715	1 922	2 135	2 348	2 561	2 780	2 998	3 217	3 435	3 654	3 878	4 102	4 326	4 551	4 779	5 006	5 233
1 524	1 713	1 903	2 094	2 289	2 489	2 686	2 886	3 087	3 289	3 494	3 697	3 904	4 110	4 316	4 523	4 730
1 323	1 483	1 648	1 812	1 977	2 145	2 314	2 483	2 651	2 820	2 993	3 166	3 339	3 512	3 688	3 864	4 039
1 594	1 792	1 930	2 190	2 395	2 604	2 810	3 020	3 231	3 442	3 657	3 871	4 087	4 304	4 519	4 736	4 954
1 353	1 516	1 684	1 852	2 020	2 192	2 365	2 537	2 710	2 882	3 059	3 236	3 412	3 589	3 770	3 949	4 128
1 517	1 706	1 895	2 085	2 280	2 479	2 675	2 875	3 076	3 277	3 482	3 685	3 891	4 098	4 303	4 510	4 717
1 286	1 441	1 601	1 761	1 921	2 085	2 248	2 412	2 576	2 740	2 908	3 076	3 244	3 413	3 584	3 754	3 924
1 545	1 737	1 930	2 124	2 322	2 524	2 724	2 927	3 132	3 337	3 545	3 752	3 961	4 171	4 380	4 590	4 801
1 317	1 476	1 640	1 802	1 967	2 135	2 303	2 471	2 638	2 806	2 978	3 151	3 323	3 495	3 671	3 845	4 019
1 696	1 907	2 119	2 333	2 552	2 775	2 996	3 222	3 446	3 673	3 903	4 133	4 364	4 597	4 828	5 062	5 295
1 351	1 515	1 683	1 850	2 018	2 191	2 363	2 525	2 707	2 880	3 056	3 233	3 410	3 586	3 766	3 945	4 124
1 200	1 350	1 500	1 652	1 808	1 966	2 124	2 283	2 444	2 606	2 770	2 934	3 099	3 265	3 431	3 597	3 764
899	1 008	1 119	1 237	1 343	1 457	1 572	1 686	1 801	1 916	2 033	2 151	2 268	2 386	2 506	2 625	2 744
1 101	1 239	1 377	1 517	1 660	1 805	1 950	2 097	2 245	2 394	2 545	2 695	2 847	3 000	3 152	3 305	3 459
812	911	1 011	1 112	1 213	1 317	1 420	1 523	1 627	1 731	1 837	1 943	2 049	2 156	2 264	2 371	2 479
2 182	2 453	2 724	2 998	3 277	3 563	3 845	4 132	4 420	4 709	5 003	5 294	5 590	5 886	6 180	6 477	6 774
1 833	2 110	2 344	2 578	2 812	3 052	3 291	3 531	3 771	4 011	4 257	4 503	4 750	4 996	5 247	5 496	5 745
1 779	2 000	2 222	2 446	2 674	2 908	3 138	3 373	3 609	3 845	4 085	4 324	4 566	4 808	5 050	5 292	5 535
1 494	1 675	1 860	2 046	2 231	2 422	2 612	2 802	2 993	3 183	3 378	3 574	3 769	3 964	4 164	4 361	4 559
2 071	2 328	2 586	2 846	3 112	3 383	3 651	3 924	4 198	4 473	4 752	5 030	5 311	5 593	5 873	6 155	6 437
1 760	1 973	2 191	2 410	2 628	2 853	3 077	3 301	3 526	3 750	3 980	4 210	4 440	4 670	4 905	5 138	5 371

Республика, край, область	Бассейн, место- рождение	Марка топлива	Класс или продукт обогащения	Энталь- пия	Температура, °C							
					100	200	300	400	500	600	700	800
31. СССР, Волын- ская и Львовская обл.	Межречен- ское	Г	Р	I_{Γ}^0	202	408	621	840	1 066	1 295	1 531	1 774
				$I_{\text{в}}^0$	179	360	545	733	925	1 122	1 325	1 529
32. Башкирская АССР	Бабаевское	Б1	Р	I_{Γ}^0	121	244	371	502	637	775	916	1 063
				$I_{\text{в}}^0$	84	168	254	342	432	525	619	715
33. РСФСР, Перм- ская обл.	Кизеловский	Г	Р, отсев, К, М	I_{Γ}^0	189	384	583	790	1 001	1 217	1 438	1 666
				$I_{\text{в}}^0$	169	339	513	690	872	1 058	1 249	1 441
34. То же	То же	Г	Промпродукт мокрого обогаще- ния	I_{Γ}^0	151	306	465	629	798	970	1 147	1 328
				$I_{\text{в}}^0$	133	268	405	545	688	835	986	1 138
35. РСФСР, Челя- бинская обл.	Челябинский:	Б3	Р, МСШ	I_{Γ}^0	142	287	437	591	750	911	1 078	1 249
				$I_{\text{в}}^0$	118	238	360	484	611	742	876	1 010
36. РСФСР, Сверд- ловская, обл.	Егоршинское	ПА	Р	I_{Γ}^0	208	421	640	866	1 099	1 335	1 579	1 829
				$I_{\text{в}}^0$	186	375	568	764	965	1 170	1 381	1 594
37. То же	Волчанское	Б3	Р	I_{Γ}^0	109	222	337	456	579	704	833	965
				$I_{\text{в}}^0$	86	174	263	353	446	541	639	737
38. . .	Веселовское и Богослов- ское	Б3	Р	I_{Γ}^0	115	232	353	478	607	737	872	1 011
				$I_{\text{в}}^0$	90	182	276	371	468	568	670	773
39. Грузинская ССР	Ткварчель- ское	Ж	Промпродукт мокрого обога- щения	I_{Γ}^0	163	330	602	680	862	1 047	1 238	1 434
✓ 40. То же	Ткибульское	Г	То же	$I_{\text{в}}^0$	142	285	431	580	733	889	1 049	1 210
				I_{Γ}^0	173	350	532	721	914	1 110	1 313	1 521
				$I_{\text{в}}^0$	149	300	453	610	770	934	1 102	1 272
41. Узбекская ССР	Ангренское	Б2	ОМ, СШ	I_{Γ}^0	149	303	461	624	791	962	1 138	1 319
				$I_{\text{в}}^0$	120	242	366	493	622	755	891	1 028
42. Киргизская ССР	Кок-Янгак	Д	Р, ОМ, СШ	I_{Γ}^0	205	414	630	853	1 082	1 315	1 554	1 801
				$I_{\text{в}}^0$	179	361	546	734	927	1 124	1 327	1 531
43. То же	Таш-Кумыр	Д	Р, СШ	I_{Γ}^0	179	363	551	746	947	1 150	1 360	1 576
				$I_{\text{в}}^0$	154	310	469	630	796	965	1 140	1 315
44. . .	улюкта	Б3	ОМ, СШ	I_{Γ}^0	179	362	551	745	946	1 149	1 359	1 575
				$I_{\text{в}}^0$	151	305	461	620	783	950	1 122	1 294
45. . .	Кызыл-Кия	Б3	ОМ, СШ	I_{Γ}^0	164	332	505	684	868	1 054	1 247	1 445
				$I_{\text{в}}^0$	136	273	414	556	703	852	1 006	1 161
46. . .	Кара-Киче	Б3	—	I_{Γ}^0	195	396	602	815	1 035	1 257	1 487	1 723
				$I_{\text{в}}^0$	167	336	508	684	864	1 047	1 237	1 427
47. Таджикская ССР	Шураб, шахта № 8	Б2	К, ОМ, СШ	I_{Γ}^0	170	345	524	710	901	1 095	1 295	1 501
				$I_{\text{в}}^0$	141	284	430	578	730	885	1 045	1 206
48. То же	Шур-б, шахта № 1/2	Б3	Р	I_{Γ}^0	174	353	536	726	921	1 119	1 323	1 534
				$I_{\text{в}}^0$	146	294	445	599	757	918	1 084	1 250

Продолжение табл. XIV

Температура, °C																
900	1 000	1 100	1 200	1 300	1 400	1 500	1 600	1 700	1 800	1 900	2 000	2 100	2 200	2 300	2 400	2 500
2 022	2 278	2 525	2 778	3 038	3 302	3 564	3 830	4 097	4 365	4 638	4 908	5 183	5 457	5 731	6 006	6 281
1 732	1 992	2 157	2 372	2 587	2 808	3 029	3 250	3 470	3 691	3 918	4 144	4 371	4 597	4 828	5 057	5 287
1 212	1 364	1 517	1 672	1 829	1 990	2 152	2 314	2 478	2 644	2 812	2 980	3 149	3 319	3 489	3 660	3 832
810	908	1 008	1 108	1 209	1 312	1 415	1 518	1 621	1 724	1 830	1 936	2 041	2 148	2 255	2 362	2 469
1 899	2 135	2 372	2 610	2 853	3 102	3 348	3 597	3 849	4 101	4 357	4 611	4 868	5 126	5 383	5 642	5 900
1 633	1 830	2 033	2 236	2 438	2 647	2 855	3 063	3 271	3 479	3 692	3 906	4 119	4 333	4 550	4 767	4 983
1 514	1 702	1 891	2 081	2 275	2 474	2 669	2 869	3 069	3 270	3 475	3 677	3 883	4 089	4 294	4 500	4 707
1 289	1 445	1 605	1 765	1 926	2 090	2 254	2 419	2 583	2 747	2 916	3 084	3 253	3 421	3 593	3 764	3 934
1 424	1 601	1 779	1 959	2 142	2 329	2 515	2 703	2 893	3 083	3 277	3 469	3 663	3 858	4 053	4 248	4 444
1 145	1 283	1 426	1 568	1 710	1 856	2 002	2 148	2 294	2 440	2 589	2 739	2 889	3 038	3 191	3 342	3 494
2 085	2 343	2 603	2 864	3 131	3 403	3 672	3 946	4 221	4 497	4 777	5 055	5 336	5 619	5 899	6 182	6 465
1 806	2 025	2 249	2 473	2 698	2 928	3 158	3 388	3 619	3 849	4 085	4 321	4 557	4 793	5 034	5 273	5 513
1 100	1 238	1 376	1 515	1 658	1 803	1 947	2 093	2 241	2 389	2 539	2 688	2 840	2 991	3 143	3 295	3 448
836	937	1 041	1 144	1 248	1 355	1 461	1 568	1 674	1 781	1 890	1 999	2 109	2 218	2 329	2 440	2 551
1 153	1 297	1 441	1 587	1 736	1 888	2 039	2 193	2 347	2 507	2 659	2 816	2 974	3 134	3 293	3 451	3 611
877	983	1 091	1 200	1 309	1 421	1 533	1 644	1 756	1 868	1 982	2 097	2 212	2 326	2 443	2 559	2 675
1 635	1 838	2 042	2 248	2 458	2 672	2 884	3 100	3 317	3 534	3 755	3 975	4 197	4 420	4 643	4 855	5 089
1 372	1 538	1 708	1 878	2 049	2 224	2 398	2 573	2 748	2 923	3 102	3 282	3 461	3 640	3 823	4 005	4 186
1 734	1 950	2 166	2 384	2 607	2 835	3 060	3 288	3 519	3 750	3 984	4 217	4 453	4 690	4 926	5 163	5 400
1 441	1 616	1 795	1 974	2 153	2 336	2 520	2 704	2 888	3 071	3 260	3 448	3 637	3 825	4 017	4 208	4 398
1 503	1 691	1 879	2 069	2 263	2 461	2 658	2 857	3 058	3 260	3 464	3 668	3 874	4 081	4 288	4 494	4 702
1 165	1 306	1 451	1 596	1 740	1 889	2 038	2 186	2 335	2 483	2 636	2 788	2 940	3 093	3 248	3 402	3 556
2 053	2 308	2 564	2 822	3 085	3 354	3 620	3 890	4 162	4 435	4 712	4 987	5 266	5 545	5 824	6 103	6 383
1 735	1 945	2 161	2 376	2 592	2 813	3 034	3 255	3 477	3 698	3 925	4 152	4 378	4 605	4 837	5 066	5 296
1 797	2 020	2 245	2 471	2 701	2 937	3 170	3 407	3 646	3 885	4 128	4 369	4 614	4 859	5 103	5 349	5 595
1 490	1 671	1 856	2 041	2 226	2 416	2 606	2 796	2 986	3 176	3 371	3 566	3 760	3 955	4 154	4 351	4 549
1 796	2 019	2 243	2 469	2 700	2 936	3 169	3 406	3 645	3 884	4 127	4 368	4 613	4 858	5 103	5 348	5 594
1 467	1 644	1 826	2 008	2 191	2 377	2 564	2 751	2 938	3 125	3 317	3 509	3 700	3 892	4 088	4 282	4 475
1 648	1 853	2 059	2 267	2 479	2 696	2 911	3 129	3 348	3 568	3 792	4 014	4 240	4 465	4 690	4 917	5 143
1 316	1 475	1 638	1 802	1 965	2 133	2 301	2 468	2 636	2 804	2 976	3 148	3 320	3 492	3 667	3 841	4 015
1 964	2 208	2 453	2 700	2 953	3 211	3 465	3 725	3 985	4 247	4 512	4 776	5 043	5 311	5 578	5 846	6 115
1 617	1 813	2 014	2 214	2 415	2 621	2 827	3 033	3 240	3 446	3 657	3 868	4 080	4 291	4 507	4 721	4 935
1 711	1 924	2 138	2 354	2 574	2 799	3 022	3 248	3 476	3 705	3 937	4 168	4 401	4 636	4 869	5 104	5 339
1 367	1 532	1 702	1 871	2 041	2 215	2 389	2 564	2 738	2 912	3 091	3 269	3 448	3 626	3 809	3 989	4 170
1 748	1 966	2 185	2 405	2 630	2 860	3 087	3 318	3 551	3 784	4 021	4 257	4 495	4 734	4 973	5 212	5 452
1 417	1 588	1 764	1 940	2 116	2 297	2 477	2 658	2 838	3 019	3 204	3 389	3 575	3 760	3 949	4 136	4 324

Республика, край, область	Бассейн, место- рождение	Марка топлива	Класс или продукт обогащения	Энталь- пия	Температура, °С							
					100	200	300	400	500	600	700	800
49. РСФСР, Крас- ноярский край	Канско- Ачинский: Ирша-Боро- динское	Б2	Р	I_{Γ}^0	166	337	512	694	880	1 069	1 265	1 466
50. То же	Назаровское	Б2	Р	$I_{\text{в}}^0$	134	269	408	548	692	840	991	1 144
51. " "	Березовское	Б2	Р	I_{Γ}^0	147	298	454	615	780	948	1 121	1 299
52. " "	Боготольское	Б1	Р	$I_{\text{в}}^0$	114	230	348	469	592	718	848	978
53. " "	Абанское	Б2	Р	I_{Γ}^0	167	339	515	698	885	1 076	1 273	1 475
54. РСФСР, Кеме- ровская обл.	Итатское	Б1	Р	$I_{\text{в}}^0$	135	271	410	551	696	844	997	1 150
55. То же	Барандат- ское	Б2	Р	I_{Γ}^0	138	281	427	578	733	891	1 054	1 222
56. РСФСР, Крас- ноярский край	Минусинский: Черногорское	Д	Р	$I_{\text{в}}^0$	105	211	319	429	541	657	775	894
57. РСФСР, Иркут- ская обл.	Черемхов- ское, Заби- туйское	Д	Р, отсев	I_{Γ}^0	159	323	491	665	844	1 025	1 213	1 405
58. То же	Азейское	Б3	Р	$I_{\text{в}}^0$	128	257	388	522	659	800	944	1 089
59. " "	Мугунское	Б3	Р	I_{Γ}^0	145	294	447	605	767	933	1 103	1 279
60. Бурятская АССР	Гусиноозер- ск	Б3	Р	$I_{\text{в}}^0$	112	225	340	457	577	700	827	954
61. То же	Хотбольд- жинское	Б3	Р	I_{Γ}^0	162	328	499	675	856	1 041	1 231	1 427
62. " "	Баянгольское	Д	Р	$I_{\text{в}}^0$	128	258	391	525	663	805	950	1 096
63. РСФСР, Чи- тинская обл.	Букачачин- ское	Г	Р	I_{Γ}^0	202	409	623	843	1 069	1 299	1 536	1 779
64. То же	Черновское	Б2	Р	$I_{\text{в}}^0$	175	353	533	717	906	1 099	1 297	1 497
65. " "	Татауровское	Б2	Р	I_{Γ}^0	173	350	533	721	915	1 112	1 314	1 523
66. " "	Харанорское	Б1	Р	$I_{\text{в}}^0$	149	300	454	611	772	936	1 105	1 275
				I_{Γ}^0	175	354	538	728	924	1 123	1 328	1 538
				$I_{\text{в}}^0$	145	292	442	594	750	910	1 074	1 240
				I_{Γ}^0	180	365	555	752	953	1 158	1 370	1 587
				$I_{\text{в}}^0$	151	304	460	619	782	948	1 119	1 292
				I_{Γ}^0	167	338	514	696	883	1 072	1 268	1 470
				$I_{\text{в}}^0$	139	279	422	568	717	870	1 027	1 185
				I_{Γ}^0	172	349	530	718	910	1 106	1 308	1 516
				$I_{\text{в}}^0$	143	288	436	586	740	898	1 060	1 223
				I_{Γ}^0	181	367	558	756	959	1 165	1 378	1 596
				$I_{\text{в}}^0$	153	307	465	625	789	957	1 130	1 304
				I_{Γ}^0	250	506	770	1 042	1 321	1 605	1 897	2 198
				$I_{\text{в}}^0$	221	446	674	907	1 145	1 389	1 640	1 892
				I_{Γ}^0	165	334	507	687	871	1 059	1 252	1 452
				$I_{\text{в}}^0$	133	268	406	546	690	837	988	1 140
				I_{Γ}^0	159	323	491	665	843	1 026	1 212	1 405
				$I_{\text{в}}^0$	128	258	390	525	663	804	949	1 095
				I_{Γ}^0	142	288	438	593	753	915	1 082	1 255
				$I_{\text{в}}^0$	110	221	334	450	568	689	813	938

Продолжение табл. XIV

Температура, °C

900	1 000	1 100	1 200	1 300	1 400	1 500	1 600	1 700	1 800	1 900	2 000	2 100	2 200	2 300	2 400	2 500
1671	1880	2089	2300	2516	2736	2955	3177	3400	3624	3852	4079	4308	4536	4767	4998	5229
1297	1453	1614	1775	1936	2102	2267	2432	2597	2763	2932	3102	3271	3440	3614	3785	3956
1481	1667	1853	2040	2232	2428	2622	2819	3018	3218	3420	3622	3826	4031	4236	4441	4647
1108	1212	1330	1518	1655	1797	1938	2079	2220	2362	2506	2651	2796	2941	3089	3236	3382
1682	1891	2102	2315	2532	2753	2973	3193	3421	3647	3876	4104	4334	4566	4797	5029	5261
1304	1461	1623	1785	1947	2113	2279	2445	2612	2778	2948	3119	3289	3459	3633	3806	3978
1393	1567	1743	1919	2100	2284	2468	2654	2841	3029	3220	3411	3604	3797	3990	4184	4379
1014	1136	1262	1388	1513	1643	1772	1901	2030	2160	2292	2425	2557	2690	2825	2959	3093
1602	1802	2003	2206	2413	2624	2834	3046	3261	3476	3694	3912	4132	4353	4573	4794	5016
1295	1384	1537	1691	1844	2001	2159	2316	2473	2631	2792	2954	3115	3276	3441	3604	3768
1458	1640	1824	2008	2197	2390	2582	2776	2972	3168	3368	3567	3768	3970	4172	4374	4577
1081	1212	1346	1480	1615	1752	1890	2023	2166	2304	2445	2586	2728	2869	3013	3156	3299
1627	1830	2034	2239	2450	2664	2877	3094	3312	3530	3752	3973	4197	4421	4645	4870	5095
1243	1393	1547	1701	1856	2014	2172	2331	2489	2647	2810	2972	3135	3297	3463	3627	3792
2028	2281	2534	2789	3049	3315	3578	3845	4114	4384	4658	4930	5206	5483	5758	6035	6312
1697	1902	2113	2323	2534	2750	2966	3183	3399	3615	3837	4059	4281	4502	4729	4953	5178
1736	1952	2169	2387	2610	2838	3063	3292	3522	3753	3989	4221	4458	4695	4930	5168	5405
1445	1620	1799	1978	2158	2342	2526	2710	2894	3079	3267	3456	3645	3834	4027	4218	4409
1754	1972	2192	2413	2639	2870	3093	3330	3564	3798	4036	4273	4513	4753	4993	5234	5475
1405	1575	1749	1924	2098	2277	2456	2635	2814	2993	3177	3361	3544	3728	3915	4101	4287
1809	2035	2261	2489	2722	2960	3196	3435	3676	3918	4163	4407	4655	4903	5150	5398	5647
1464	1641	1823	2004	2186	2373	2559	2746	2932	3119	3310	3502	3693	3884	4080	4273	4467
1676	1884	2094	2305	2521	2742	2960	3182	3405	3629	3856	4083	4312	4542	4770	5001	5231
1343	1505	1672	1838	2005	2176	2347	2519	2690	2861	3035	3212	3387	3553	3742	3920	4097
1729	1944	2160	2378	2601	2828	3053	3282	3512	3743	3978	4211	4447	4684	4920	5158	5395
1386	1553	1725	1898	2070	2246	2423	2600	2776	2953	3134	3315	3496	3677	3862	4046	4229
1820	2046	2274	2503	2737	2976	3213	3454	3696	3939	4186	4431	4679	4929	5177	5426	5677
1478	1657	1840	2024	2208	2396	2584	2773	2961	3150	3343	3536	3729	3923	4120	4315	4511
2506	2817	3129	3444	3765	4093	4417	4747	5078	5411	5749	6084	6424	6764	7104	7444	7706
2145	2404	2670	2937	3203	3476	3750	4023	4296	4570	4850	5130	5411	5691	5977	6261	6544
1655	1861	2069	2277	2491	2709	2925	3145	3366	3588	3813	4038	4264	4492	4719	4947	5176
1292	1448	1609	1769	1929	2094	2259	2423	2588	2753	2921	3090	3259	3428	3600	3771	3942
1602	1802	2003	2205	2412	2623	2832	3045	3259	3474	3692	3910	4129	4350	4570	4791	5013
1242	1392	1546	1700	1854	2012	2171	2329	2487	2645	2808	2970	3132	3295	3460	3624	3789
1430	1609	1789	1970	2155	2344	2532	2723	2915	3108	3303	3498	3695	3893	4091	4289	4488
1064	1192	1324	1456	1588	1724	1860	1995	2131	2266	2405	2544	2683	2822	2964	3105	3246

Республика, край, область	Бассейн, место- рождение	Марка топлива	Класс или продукт обогащения	Эквива- лент	100	200	300	400	500	600	700	800
67. РСФСР, Хаба- ровский край	Райчихин- ское	Б2	К, О, МСШ, Р	I_{Γ}^0	144	292	444	601	763	927	1 097	1 271
				$I_{\text{В}}^0$	113	227	343	461	582	707	834	962
68. То же	То же	Б1	Р, окисленный	I_{Γ}^0	123	250	380	514	652	793	938	1 088
				$I_{\text{В}}^0$	90	181	274	368	465	564	666	769
69. . .	Ургальское	Г	Р	I_{Γ}^0	188	381	579	784	994	1 208	1 428	1 655
				$I_{\text{В}}^0$	166	334	505	679	857	1 040	1 228	1 416
70. РСФСР, При- морский край	Липовецкое	Д	Р, СШ	I_{Γ}^0	171	347	527	714	905	1 100	1 300	1 506
				$I_{\text{В}}^0$	150	302	457	614	775	941	1 111	1 281
71. То же	Сучанский:	Г ₆	Р	I_{Γ}^0	181	366	556	753	955	1 160	1 372	1 589
				$I_{\text{В}}^0$	160	323	489	657	830	1 007	1 188	1 371
72. . .	То же	Ж ₆	Р	I_{Γ}^0	190	385	585	792	1 005	1 221	1 443	1 672
				$I_{\text{В}}^0$	170	341	516	694	877	1 064	1 256	1 449
73. . .	. .	Т	Р	I_{Γ}^0	224	454	690	934	1 185	1 440	1 702	1 972
				$I_{\text{В}}^0$	203	408	617	830	1 048	1 271	1 501	1 732
74. . .	Подгород- ненское	Т	Р	I_{Γ}^0	172	349	531	719	912	1 108	1 309	1 517
				$I_{\text{В}}^0$	155	312	472	635	802	973	1 149	1 325
75. . .	Артемовское	Б3	Р, СШ	I_{Γ}^0	139	281	427	578	733	891	1 054	1 221
				$I_{\text{В}}^0$	112	226	341	459	580	703	831	958
76. . .	Тавричан- ское	Б3	ОМ, СШ	I_{Γ}^0	168	340	518	700	888	1 080	1 276	1 479
				$I_{\text{В}}^0$	143	288	436	586	740	898	1 060	1 223
77. . .	Реттихов- ское	Б1	К, ОМ, СШ	I_{Γ}^0	117	237	360	487	618	751	888	1 030
				$I_{\text{В}}^0$	86	172	260	350	442	536	633	731
78. . .	Чихезское	Б1	Р	I_{Γ}^0	127	258	392	531	673	818	968	1 123
				$I_{\text{В}}^0$	95	190	288	387	489	593	700	808
79. . .	Бикинское	Б2	Р	I_{Γ}^0	113	228	347	469	595	723	856	992
				$I_{\text{В}}^0$	83	168	254	342	432	524	618	713
80. Якутская АССР	Джебарики- Хая	Д	Р	I_{Γ}^0	220	446	678	918	1 164	1 415	1 673	1 939
				$I_{\text{В}}^0$	192	387	585	787	994	1 205	1 423	1 642
81. То же	Нерюнгрин- ское	СС	Р	I_{Γ}^0	231	468	712	963	1 222	1 485	1 755	2 034
				$I_{\text{В}}^0$	206	414	626	842	1 063	1 290	1 523	1 757
82. . .	Сангорское	Д	Р	I_{Γ}^0	230	465	707	957	1 214	1 475	1 743	2 020
				$I_{\text{В}}^0$	201	405	613	825	1 041	1 263	1 491	1 721
83. . .	Чульмакан- ское	Ж	Р	I_{Γ}^0	220	445	676	915	1 160	1 410	1 667	1 931
				$I_{\text{В}}^0$	195	393	594	799	1 009	1 224	1 445	1 667
84. РСФСР, Мага- данская обл.	Нижне-Ар- кагалинское	Д	Р	I_{Γ}^0	220	445	677	917	1 163	1 413	1 670	1 935
				$I_{\text{В}}^0$	190	383	579	779	984	1 194	1 410	1 626

Продолжение табл. XIV

Температура, °C

900	1 000	1 100	1 200	1 300	1 400	1 500	1 600	1 700	1 800	1 900	2 000	2 100	2 200	2 300	2 400	2 500
1450	1 631	1 813	1 996	2 184	2 375	2 565	2 758	2 953	3 148	3 346	3 543	3 743	3 943	4 142	4 343	4 545
1091	1 223	1 358	1 494	1 629	1 768	1 907	2 046	2 185	2 324	2 467	2 609	2 752	2 895	3 040	3 184	3 329
1241	1 396	1 553	1 710	1 872	2 036	2 200	2 366	2 533	2 701	2 872	3 042	3 214	3 387	3 560	3 733	3 907
871	976	1 085	1 193	1 301	1 412	1 523	1 634	1 745	1 856	1 970	2 084	2 198	2 312	2 428	2 543	2 658
1886	2 120	2 356	2 592	2 834	3 081	3 326	3 574	3 824	4 074	4 329	4 581	4 837	5 094	5 349	5 606	5 863
1605	1 799	1 999	2 198	2 397	2 602	2 807	3 011	3 216	3 420	3 630	3 840	4 050	4 260	4 474	4 686	4 899
1717	1 931	2 145	2 360	2 581	2 806	3 028	3 254	3 482	3 710	3 942	4 172	4 405	4 639	4 872	5 106	5 341
1452	1 628	1 808	1 989	2 169	2 354	2 539	2 724	2 909	3 094	3 284	3 474	3 664	3 854	4 047	4 240	4 432
1812	2 037	2 262	2 490	2 722	2 959	3 193	3 431	3 671	3 911	4 155	4 397	4 643	4 889	5 134	5 380	5 627
1554	1 742	1 935	2 128	2 321	2 519	2 717	2 915	3 113	3 311	3 515	3 718	3 921	4 124	4 331	4 537	4 743
1906	2 142	2 380	2 619	2 863	3 112	3 359	3 609	3 861	4 114	4 370	4 625	4 883	5 142	5 399	5 658	5 917
1642	1 841	2 045	2 249	2 452	2 662	2 871	3 080	3 290	3 499	3 714	3 928	4 143	4 358	4 577	4 794	5 011
2248	2 526	2 806	3 088	3 375	3 669	3 959	4 254	4 550	4 847	5 149	5 448	5 752	6 056	6 359	6 663	6 968
1963	2 200	2 444	2 688	2 932	3 182	3 432	3 682	3 932	4 183	4 439	4 696	4 952	5 209	5 471	5 730	5 990
1729	1 943	2 159	2 375	2 597	2 823	3 046	3 273	3 501	3 730	3 963	4 193	4 427	4 661	4 895	5 129	5 364
1502	1 684	1 870	2 057	2 243	2 435	2 626	2 818	3 009	3 200	3 397	3 593	3 789	3 986	4 186	4 385	4 583
1392	1 566	1 740	1 916	2 096	2 280	2 461	2 646	2 832	3 019	3 209	3 397	3 588	3 780	3 971	4 163	4 355
1086	1 217	1 352	1 487	1 622	1 760	1 899	2 037	2 176	2 314	2 456	2 598	2 740	2 882	3 027	3 171	3 314
1686	1 896	2 106	2 319	2 536	2 757	2 976	3 199	3 423	3 647	3 876	4 103	4 332	4 563	4 792	5 023	5 254
1386	1 554	1 726	1 898	2 070	2 247	2 423	2 600	2 777	2 953	3 134	3 316	3 497	3 678	3 863	4 046	4 230
1174	1 322	1 470	1 619	1 772	1 928	2 083	2 240	2 399	2 558	2 720	2 881	3 044	3 208	3 372	3 536	3 701
828	928	1 031	1 134	1 237	1 343	1 448	1 554	1 659	1 765	1 873	1 981	2 090	2 198	2 308	2 418	2 528
1280	1 440	1 602	1 764	1 931	2 100	2 269	2 440	2 613	2 786	2 962	3 138	3 315	3 493	3 671	3 851	4 030
916	1 027	1 140	1 254	1 368	1 485	1 601	1 718	1 835	1 952	2 071	2 191	2 311	2 430	2 553	2 674	2 795
1131	1 273	1 415	1 559	1 706	1 856	2 005	2 156	2 309	2 462	2 617	2 773	2 929	3 087	3 244	3 402	3 560
809	906	1 007	1 107	1 208	1 311	1 414	1 517	1 620	1 723	1 829	1 934	2 040	2 146	2 254	2 360	2 467
2216	2 484	2 760	3 038	3 321	3 611	3 897	4 188	4 481	4 775	5 073	5 369	5 670	5 971	6 271	6 571	6 873
1861	2 086	2 317	2 548	2 779	3 017	3 254	3 491	3 728	3 965	4 209	4 452	4 695	4 938	5 187	5 433	5 679
2318	2 606	2 895	3 186	3 483	3 786	4 085	4 390	4 696	5 003	5 316	5 625	5 939	6 253	6 566	6 881	7 196
1991	2 232	2 479	2 727	2 974	3 228	3 482	3 735	3 989	4 243	4 503	4 764	5 024	5 287	5 550	5 813	6 077
2302	2 583	2 876	3 165	3 460	3 762	4 060	4 363	4 669	4 975	5 285	5 594	5 907	6 220	6 532	6 846	7 161
1750	2 186	2 428	2 670	2 913	3 161	3 410	3 658	3 907	4 155	4 410	4 665	4 920	5 175	5 435	5 693	5 951
2201	2 474	2 743	3 024	3 307	3 595	3 879	4 169	4 460	4 752	5 049	5 343	5 642	5 941	6 238	6 538	6 838
1890	2 118	2 353	2 587	2 822	3 063	3 304	3 545	3 785	4 026	4 273	4 520	4 767	5 014	5 266	5 516	5 766
2206	2 486	2 756	3 033	3 316	3 606	3 892	4 183	4 475	4 769	5 067	5 363	5 663	5 964	6 264	6 565	6 867
1843	2 066	2 295	2 534	2 753	2 988	3 223	3 458	3 693	3 928	4 169	4 410	4 651	4 892	5 137	5 381	5 625

Республика, край, область	Бассейн, место- рождение	Марка топлива	Класс или продукт обогащения	Энталь- пия	100	200	300	400	500	600	700	800
					I_{Γ}^0	I_{Γ}^0	I_{Γ}^0	I_{Γ}^0	I_{Γ}^0	I_{Γ}^0	I_{Γ}^0	I_{Γ}^0
85. РСФСР, Мага- данская обл.	Верхне-Ар- кагалинское	Д	Р	I_{Γ}^0	183	371	564	764	969	1 178	1 393	1 614
				I_{Γ}^0	155	312	472	634	801	972	1 147	1 324
86. То же	Анадырское	Д	Р	I_{Γ}^0	192	388	590	799	1 013	1 231	1 456	1 687
				I_{Γ}^0	161	325	492	661	835	1 013	1 196	1 380
87. РСФСР, Юж- ный Сахалин	—	Д	Р, ОМ, СШ	I_{Γ}^0	194	392	597	808	1 025	1 244	1 471	1 705
				I_{Γ}^0	168	339	512	689	870	1 055	1 246	1 437
88. То же	—	Г	Р, КО, МСШ, КОМСШ	I_{Γ}^0	240	486	739	1 000	1 268	1 540	1 821	2 109
				I_{Γ}^0	212	426	644	867	1 095	1 328	1 568	1 810
89. . .	—	БЗ	Р	I_{Γ}^0	165	334	508	688	872	1 060	1 254	1 453
				I_{Γ}^0	138	277	419	564	712	864	1 020	1 177
Сланцы горючие												
90. Эстонская ССР	Шахты и разрез „Вивиконд“	Горючий сланец	Энергетический мелкий	I_{Γ}^0	112	228	346	468	594	721	853	990
				I_{Γ}^0	91	184	278	374	473	574	677	781
91. То же	Разрез № 1, „Сиргола“ и „Вивиконд“	То же	Энергетический	I_{Γ}^0	99	200	304	410	521	633	749	869
				I_{Γ}^0	79	158	240	322	407	494	583	672
92. РСФСР, Ленин- градская обл.	—	„ .	Крупный, средний, мелкий	I_{Γ}^0	98	199	303	410	520	631	747	866
				I_{Γ}^0	79	160	241	325	410	498	587	678
93. РСФСР, Куй- бышевская обл.	Кашпирское	„ .	—	I_{Γ}^0	70	141	215	290	369	448	530	614
				I_{Γ}^0	52	105	158	213	269	326	385	445
94. Торф	—	Фрезер- ный торф	—	I_{Γ}^0	111	226	343	465	589	717	848	983
				I_{Γ}^0	75	151	229	308	389	472	557	643
95. Дрова	—	Дрова	—	I_{Γ}^0	126	255	388	525	667	812	960	1 113
				I_{Γ}^0	89	179	271	364	460	558	657	759
Жидкое топливо												
96. Мазут	—	—	Малосернистый	I_{Γ}^0	379	766	1 163	1 573	1 994	2 421	2 862	3 315
				I_{Γ}^0	336	676	1 022	1 375	1 736	2 106	2 486	2 869
97. Мазут	—	—	Сернистый	I_{Γ}^0	372	752	1 142	1 545	1 958	2 379	2 811	3 257
				I_{Γ}^0	330	664	1 005	1 351	1 707	2 071	2 445	2 821
98. Мазут	—	—	Высокосернистый	I_{Γ}^0	362	733	1 114	1 506	1 909	2 319	2 741	3 175
				I_{Γ}^0	322	649	982	1 320	1 667	2 023	2 388	2 755
99. Стабилизиро- ванная нефть	—	—	—	I_{Γ}^0	374	757	1 149	1 554	1 969	2 392	2 827	3 274
				I_{Γ}^0	331	667	1 008	1 356	1 713	2 078	2 453	2 830

Продолжение табл. XIV

Температура, °C

900	1 000	1 100	1 200	1 300	1 400	1 500	1 600	1 700	1 800	1 900	2 000	2 100	2 200	2 300	2 400	2 500
1 840	2 069	2 299	2 530	2 767	3 008	3 248	3 491	3 735	3 980	4 230	4 477	4 728	4 980	5 230	5 482	5 734
1 500	1 681	1 868	2 054	2 240	2 431	2 623	2 814	3 005	3 196	3 392	3 588	3 784	3 980	4 181	4 379	4 577
1 923	2 163	2 403	2 645	2 893	3 146	3 396	3 650	3 906	4 162	4 424	4 683	4 945	5 209	5 472	5 735	5 999
1 564	1 753	1 947	2 141	2 336	2 535	2 734	2 934	3 133	3 332	3 537	3 741	3 946	4 150	4 360	4 566	4 772
1 944	2 186	2 428	2 672	2 922	3 177	3 429	3 686	3 943	4 202	4 465	4 726	4 990	5 256	5 519	5 785	6 051
1 629	1 826	2 028	2 230	2 433	2 640	2 848	3 056	3 263	3 471	3 684	3 897	4 110	4 323	4 540	4 755	4 971
2 405	2 703	3 003	3 305	3 613	3 928	4 239	4 556	4 874	5 194	5 518	5 840	6 166	6 494	6 819	7 147	7 475
2 050	2 298	2 553	2 807	3 062	3 323	3 584	3 846	4 107	4 368	4 636	4 904	5 172	5 440	5 714	5 985	6 256
1 656	1 862	2 069	2 278	2 491	2 709	2 925	3 144	3 365	3 586	3 811	4 034	4 260	4 487	4 713	4 941	5 169
1 334	1 495	1 661	1 827	1 992	2 162	2 332	2 502	2 672	2 842	3 017	3 191	3 366	3 540	3 718	3 895	4 071
1 128	1 268	1 409	1 552	1 697	1 846	1 994	2 143	2 294	2 445	2 599	2 751	2 906	3 061	3 216	3 371	3 526
886	993	1 103	1 212	1 323	1 435	1 548	1 661	1 774	1 887	2 003	2 118	2 234	2 350	2 468	2 585	2 702
990	1 114	1 238	1 363	1 491	1 622	1 752	1 883	2 016	2 149	2 283	2 419	2 554	2 690	2 826	2 962	3 101
762	854	949	1 043	1 138	1 235	1 332	1 429	1 527	1 624	1 723	1 823	1 922	2 022	2 124	2 225	2 325
987	1 110	1 234	1 358	1 486	1 616	1 745	1 876	2 009	2 141	2 274	2 408	2 544	2 680	2 815	2 951	3 088
768	861	956	1 052	1 147	1 245	1 343	1 441	1 539	1 637	1 737	1 838	1 938	2 038	2 144	2 242	2 344
700	788	876	965	1 057	1 149	1 241	1 335	1 429	1 523	1 620	1 716	1 813	1 911	2 008	2 105	2 203
504	565	628	690	753	817	881	946	1 010	1 074	1 140	1 206	1 272	1 338	1 405	1 472	1 538
1 121	1 263	1 404	1 547	1 694	1 843	1 993	2 144	2 296	2 450	2 605	2 761	2 918	3 075	3 233	3 392	3 551
729	817	908	998	1 089	1 181	1 274	1 367	1 460	1 553	1 648	1 744	1 839	1 934	2 031	2 128	2 224
1 268	1 427	1 588	1 751	1 916	2 084	2 253	2 423	2 595	2 768	2 942	3 117	3 293	3 469	3 662	3 842	4 021
862	966	1 072	1 178	1 286	1 395	1 504	1 614	1 725	1 836	1 948	2 060	2 173	2 285	2 396	2 510	2 623
3 779	4 248	4 719	5 193	5 679	6 174	6 664	7 163	7 665	8 168	8 679	9 187	9 701	10 218	10 731	11 248	11 767
3 252	3 645	4 048	4 452	4 856	5 270	5 684	6 099	6 514	6 928	7 353	7 778	8 203	8 628	9 061	9 492	9 922
3 712	4 173	4 635	5 101	5 578	6 064	6 546	7 036	7 528	8 022	8 525	9 023	9 528	10 035	10 539	11 047	11 556
3 197	3 584	3 981	4 378	4 775	5 182	5 590	5 997	6 405	6 812	7 230	7 648	8 066	8 484	8 910	9 333	9 756
3 619	4 068	4 519	4 973	5 438	5 912	6 381	6 858	7 338	7 819	8 309	8 794	9 287	9 780	10 271	10 766	11 261
3 123	3 500	3 888	4 276	4 664	5 062	5 460	5 858	6 256	6 654	7 062	7 470	7 878	8 286	8 703	9 116	9 529
3 732	4 196	4 661	5 129	5 609	6 098	6 582	7 075	7 570	8 067	8 573	9 074	9 583	10 093	10 601	11 111	11 623
3 208	3 595	3 994	4 392	4 790	5 199	5 508	6 017	6 426	6 834	7 251	7 673	8 092	8 512	8 940	9 364	9 788

ЭНТАЛЬПИИ ВОЗДУХА И ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ НА 1 м³ ГАЗООБРАЗНЫХ

Газопровод	Энтальпия, ккал/м³	Темпе										
		100	200	300	400	500	600	700	800	900	1 000	1 100
I. Природные газы												
1. Саратов — Москва	I_{Γ}^0	353	713	1 082	1 461	1 850	2 246	2 654	3 075	3 504	3 940	4 378
	$I_{\text{в}}^0$	301	606	916	1 232	1 556	1 887	2 228	2 571	2 914	3 266	3 628
2. Первомайск — Сторожевка	I_{Γ}^0	286	577	874	1 181	1 496	1 816	2 145	2 485	2 831	3 184	3 537
	$I_{\text{в}}^0$	237	478	723	972	1 228	1 489	1 758	2 029	2 299	2 577	2 863
3. Саратов — Горький	I_{Γ}^0	354	715	1 084	1 464	1 855	2 252	2 660	3 082	3 512	3 950	4 388
	$I_{\text{в}}^0$	302	609	921	1 238	1 564	1 897	2 239	2 584	2 928	3 283	3 646
4. Ставрополь — Москва (I нитка)	I_{Γ}^0	354	715	1 085	1 465	1 855	2 253	2 661	3 083	3 513	3 951	4 390
	$I_{\text{а}}^0$	303	610	922	1 240	1 566	1 900	2 243	2 588	2 933	3 287	3 652
5. Ставрополь — Москва (II нитка)	I_{Γ}^0	358	722	1 095	1 479	1 873	2 274	2 687	3 112	3 547	3 989	4 431
	$I_{\text{в}}^0$	306	615	931	1 252	1 581	1 918	2 264	2 613	2 961	3 319	3 687
6. Ставрополь — Москва (III нитка)	I_{Γ}^0	362	731	1 109	1 499	1 898	2 304	2 723	3 154	3 594	4 042	4 491
	$I_{\text{в}}^0$	310	624	944	1 269	1 603	1 944	2 296	2 649	3 002	3 365	3 738
7. Серпухов — Ленинград	I_{Γ}^0	369	745	1 130	1 527	1 934	2 348	2 774	3 213	3 662	4 118	4 575
	$I_{\text{в}}^0$	316	636	962	1 294	1 635	1 983	2 341	2 701	3 061	3 431	3 811
8. Гоголево — Полтава	I_{Γ}^0	309	623	945	1 277	1 617	1 963	2 319	2 687	3 062	3 443	3 825
	$I_{\text{в}}^0$	261	525	794	1 068	1 349	1 636	1 932	2 229	2 526	2 832	3 146
9. Дашава — Киев	I_{Γ}^0	351	709	1 076	1 453	1 840	2 234	2 640	3 058	3 485	3 919	4 355
	$I_{\text{в}}^0$	301	605	916	1 232	1 556	1 887	2 228	2 570	2 913	3 265	3 627
10. Рудки — Минск — Вильчюс и Рудки — Самбор	I_{Γ}^0	349	705	1 070	1 445	1 830	2 222	2 625	3 041	3 465	3 897	4 330
	$I_{\text{в}}^0$	299	601	909	1 223	1 544	1 873	2 212	2 552	2 892	3 242	3 601
11. Угерско — Стрый, Угерско — Гнездици — Киев, Угерско — Львов	I_{Γ}^0	348	703	1 067	1 441	1 825	2 216	2 618	3 033	3 456	3 886	4 318
	$I_{\text{в}}^0$	298	600	908	1 221	1 542	1 870	2 208	2 547	2 887	3 236	3 594
12. Брянск — Москва	I_{Γ}^0	366	738	1 119	1 512	1 914	2 325	2 746	3 182	3 626	4 077	4 530
	$I_{\text{в}}^0$	313	630	953	1 282	1 619	1 964	2 318	2 675	3 032	3 398	3 775
13. Шебелинка — Острогожск, Ше- белинка — Днепропетровск, Ше- белинка — Харьков	I_{Γ}^0	367	742	1 125	1 520	1 924	2 336	2 760	3 198	3 644	4 098	4 553
	$I_{\text{в}}^0$	315	633	958	1 289	1 628	1 974	2 331	2 689	3 048	3 416	3 795
14. Шебелинка — Брянск — Москва	I_{Γ}^0	368	743	1 127	1 523	1 928	2 341	2 766	3 204	3 652	4 106	4 563
	$I_{\text{в}}^0$	315	635	960	1 291	1 631	1 979	2 336	2 696	3 055	3 425	3 804
15. Кумертау — Ишимбай — Маг- нитогорск	I_{Γ}^0	361	729	1 106	1 494	1 892	2 297	2 713	3 143	3 582	4 028	4 476
	$I_{\text{в}}^0$	308	620	937	1 261	1 592	1 931	2 280	2 631	2 982	3 342	3 712
16. Промысловка — Астрахань	I_{Γ}^0	345	695	1 055	1 425	1 804	2 191	2 588	2 998	3 417	3 842	4 269
	$I_{\text{в}}^0$	294	593	896	1 206	1 523	1 847	2 180	2 516	2 851	3 196	3 550
17. Газли — Коган	I_{Γ}^0	359	724	1 099	1 484	1 880	2 282	2 696	3 124	3 560	4 003	4 448
	$I_{\text{в}}^0$	307	618	936	1 258	1 589	1 927	2 276	2 626	2 976	3 336	3 705

ТОПЛИВ ПРИ $\alpha = 1, 0^\circ\text{C}$ И 760 мм рт. ст.

Таблица XV

температура $^\circ\text{C}$

1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000	2100	2200	2300	2400	2500
4818	5271	5732	6189	6655	7123	7594	8072	8547	9029	9512	9996	10482	10970
3990	4352	4723	5094	5466	5837	6209	6589	6970	7351	7732	8123	8503	8894
3893	4258	4630	5000	5375	5753	6133	6519	6903	7291	7681	8071	8461	8854
3148	3434	3727	4020	4313	4606	4899	5199	5500	5801	6101	6408	6712	7016
4830	5284	5746	6205	6672	7141	7613	8093	8570	9053	9537	10022	10508	10995
4010	4373	4747	5120	5493	5866	6240	6622	7005	7388	7771	8162	8549	8936
4832	5286	5748	6207	6674	7144	7616	8096	8573	9056	9541	10026	10512	11000
4016	4380	4754	5128	5501	5875	6249	6632	7016	7399	7782	8174	8561	8949
4878	5336	5803	6266	6757	7212	7688	8172	8654	9141	9631	10121	10611	11103
4035	4422	4800	5177	5555	5932	6309	6697	7084	7471	7858	8253	8644	9036
4943	5408	5881	6360	6828	7308	7791	8282	8770	9264	9760	10256	10753	11252
4111	4483	4866	5249	5631	6014	6396	6789	7181	7574	7966	8367	8763	9160
5036	5509	5991	6469	6956	7445	7937	8437	8934	9437	9943	10448	10954	11462
4191	4571	4962	5352	5742	6132	6522	6922	7322	7722	8123	8531	8936	9340
4210	4606	5009	5409	5815	6225	6636	7054	7470	7890	8313	8736	9159	9584
3459	3773	4095	4417	4739	5061	5383	5713	6044	6374	6704	7041	7375	7709
4793	5243	5702	6158	6621	7087	7556	8031	8505	8984	9466	9947	10429	10913
3989	4351	4722	5093	5464	5836	6207	6588	6969	7349	7730	8119	8504	8889
4766	5213	5670	6122	6583	7046	7512	7985	8456	8932	9410	9889	10368	10849
3960	4319	4688	5056	5425	5793	6162	6540	6918	7296	7674	8060	8442	8825
4753	5199	5654	6106	6565	7028	7492	7964	8434	8909	9386	9863	10341	10821
3953	4311	4679	5047	5415	5783	6151	6529	6906	7283	7661	8046	8427	8809
4986	5455	5932	6406	6887	7372	7859	8354	8847	9345	9845	10346	10847	11350
4151	4528	4914	5301	5687	6074	6460	6856	7253	7649	8045	8450	8851	9252
5012	5482	5962	6438	6922	7410	7899	8397	8892	9392	9895	10398	10902	11408
4173	4552	4940	5329	5717	6106	6494	6893	7291	7689	8088	8495	8897	9300
5022	5494	5974	6451	6936	7425	7915	8414	8910	9412	9916	10421	10927	11436
4183	4563	4952	5341	5731	6120	6510	6909	7308	7708	8107	8516	8916	9325
4926	5388	5860	6328	6803	7282	7763	8252	8738	9230	9724	10218	10712	11209
4083	4453	4833	5213	5593	5973	6353	6743	7132	7522	7912	8310	8704	9098
4699	5140	5590	6037	6491	6948	7407	7874	8338	8808	9280	9751	10224	10699
3904	4258	4622	4985	5348	5712	6075	6448	6821	7193	7566	7947	8323	8700
4895	5355	5824	6289	6762	7238	7716	8202	8686	9175	9667	10158	10650	11145
4075	4444	4823	5203	5582	5961	6340	6729	7118	7507	7896	8294	8687	9080

Газопровод	Энтальпия, ккал/м³	Тем										
		100	200	300	400	500	600	700	800	900	1 000	1 100
18. Хаджи-Абад — Фергана	I_{Γ}^0	370	748	1 134	1 532	1 941	2 356	2 784	3 225	3 675	4 133	4 592
	$I_{\text{в}}^0$	317	638	965	1 297	1 638	1 987	2 346	2 707	3 068	3 439	3 820
19. Джаркак — Ташкент	I_{Γ}^0	359	725	1 100	1 486	1 882	2 285	2 699	3 127	3 563	4 007	4 452
	$I_{\text{в}}^0$	308	619	937	1 260	1 591	1 930	2 278	2 629	2 979	3 340	3 710
20. Газли — Коган — Ташкент	I_{Γ}^0	356	719	1 090	1 473	1 865	2 265	2 676	3 100	3 532	3 973	4 414
	$I_{\text{в}}^0$	305	613	928	1 248	1 575	1 911	2 256	2 603	2 950	3 307	3 673
21. Ставрополь — Невинномысск — Грозный	I_{Γ}^0	350	706	1 071	1 446	1 832	2 224	2 627	3 044	3 468	3 901	4 334
	$I_{\text{в}}^0$	299	602	911	1 225	1 547	1 877	2 216	2 557	2 898	3 248	3 608
22. Карабулак — Грозный	I_{Γ}^0	449	906	1 375	1 857	2 352	2 856	3 375	3 910	4 456	5 010	5 567
	$I_{\text{в}}^0$	386	777	1 175	1 580	1 995	2 420	2 857	3 297	3 736	4 188	4 652
23. Саушино — Лог — Волгоград	I_{Γ}^0	345	696	1 055	1 426	1 805	2 192	2 590	3 000	3 419	3 845	4 272
	$I_{\text{в}}^0$	295	593	897	1 206	1 523	1 847	2 181	2 516	2 852	3 197	3 551
24. Коробки — Лог — Волгоград	I_{Γ}^0	352	710	1 077	1 455	1 842	2 237	2 643	3 062	3 489	3 924	4 360
	$I_{\text{в}}^0$	301	605	915	1 231	1 554	1 885	2 225	2 568	2 910	3 262	3 623
25. Коробки — Жирное — Камыши	I_{Γ}^0	403	814	1 235	1 668	2 112	2 565	3 030	3 511	4 001	4 499	4 999
	$I_{\text{в}}^0$	346	696	1 053	1 416	1 789	2 169	2 561	2 955	3 349	3 754	4 170
26. Карадаг — Тбилиси — Ереван	I_{Γ}^0	363	733	1 113	1 503	1 903	2 311	2 730	3 163	3 604	4 053	4 503
	$I_{\text{в}}^0$	311	626	947	1 274	1 609	1 952	2 305	2 659	3 014	3 378	3 752
27. Бухара — Урал	I_{Γ}^0	359	725	1 100	1 485	1 881	2 284	2 698	3 126	3 562	4 006	4 451
	$I_{\text{в}}^0$	308	619	936	1 259	1 590	1 929	2 277	2 628	2 978	3 338	3 708
28. Урицк — Сторожевка	I_{Γ}^0	358	723	1 097	1 482	1 877	2 279	2 693	3 119	3 555	3 998	4 442
	$I_{\text{в}}^0$	306	617	933	1 255	1 584	1 922	2 269	2 618	2 967	3 326	3 694
29. Линево — Кологривовка — Вольск	I_{Γ}^0	362	731	1 109	1 498	1 896	2 303	2 721	3 152	3 592	4 039	4 488
	$I_{\text{в}}^0$	312	628	950	1 278	1 614	1 958	2 312	2 667	3 023	3 388	3 764
30. Средняя Азия — Центр	I_{Γ}^0	366	738	1 119	1 512	1 915	2 325	2 747	3 182	3 626	4 078	4 531
	$I_{\text{в}}^0$	313	630	953	1 282	1 619	1 964	2 319	2 676	3 033	3 399	3 776
31. Игрим-Пунга — Серов — Нижний Тагил	I_{Γ}^0	357	721	1 094	1 478	1 871	2 272	2 684	3 110	3 544	3 985	4 428
	$I_{\text{в}}^0$	306	616	931	1 253	1 582	1 919	2 266	2 614	2 963	3 321	3 689
32. Оренбург — Совхозное	I_{Γ}^0	370	747	1 134	1 532	1 940	2 355	2 783	3 224	3 674	4 131	4 590
	$I_{\text{в}}^0$	318	639	967	1 300	1 642	1 992	2 351	2 713	3 075	3 447	3 828

Продолжение табл. XV

температура, °C

1 200	1 300	1 400	1 500	1 600	1 700	1 800	1 900	2 000	2 100	2 200	2 300	2 400	2 500
5 054	5 529	6 012	6 492	6 980	7 472	7 965	8 467	8 966	9 471	9 978	10 485	10 992	11 502
4 201	4 582	4 973	5 364	5 755	6 147	6 538	6 939	7 340	7 741	8 142	8 551	8 957	9 363
4 900	5 361	5 830	6 296	6 769	7 246	7 724	8 211	8 695	9 185	9 677	10 169	10 661	11 156
4 080	4 450	4 829	5 209	5 589	5 969	6 348	6 738	7 127	7 517	7 906	8 304	8 697	9 092
4 858	5 315	5 780	6 241	6 710	7 183	7 658	8 140	8 620	9 105	9 593	10 081	10 569	11 060
4 040	4 406	4 782	5 158	5 534	5 910	6 286	6 672	7 057	7 443	7 829	8 223	8 612	9 003
4 770	5 218	5 675	6 128	6 589	7 053	7 520	7 993	8 465	8 941	9 420	9 899	10 379	10 861
3 968	4 328	4 697	5 066	5 436	5 805	6 174	6 553	6 932	7 311	7 690	8 076	8 459	8 843
6 127	6 702	7 288	7 869	8 461	9 056	9 653	10 261	10 865	11 476	12 090	12 703	13 318	13 935
5 116	5 580	6 056	6 532	7 008	7 484	7 961	8 449	8 937	9 426	9 914	10 413	10 906	11 401
4 702	5 144	5 594	6 040	6 495	6 952	7 411	7 878	8 343	8 813	9 285	9 757	10 230	10 705
3 905	4 259	4 623	4 986	5 350	5 713	6 077	6 449	6 822	7 195	7 568	7 949	8 325	8 703
4 798	5 249	5 708	6 164	6 628	7 095	7 563	8 040	8 514	8 993	9 475	9 956	10 439	10 923
3 985	4 346	4 717	5 088	5 459	5 830	6 201	6 581	6 962	7 342	7 723	8 111	8 496	8 880
5 502	6 018	6 544	7 067	7 598	8 133	8 670	9 215	9 758	10 308	10 859	11 411	11 963	12 518
4 586	5 002	5 429	5 856	6 283	6 710	7 137	7 574	8 012	8 450	8 888	9 335	9 778	10 220
4 957	5 422	5 897	6 368	6 846	7 329	7 813	8 305	8 794	9 290	9 787	10 285	10 783	11 283
4 126	4 501	4 885	5 269	5 653	6 037	6 421	6 815	7 209	7 603	7 797	8 399	8 797	9 196
4 899	5 360	5 829	6 294	6 767	7 244	7 723	8 209	8 693	9 183	9 674	10 167	10 661	11 159
4 078	4 447	4 827	5 207	5 586	5 966	6 345	6 734	7 124	7 513	7 902	8 301	8 690	9 090
4 889	5 356	5 816	6 281	6 753	7 228	7 706	8 191	8 674	9 162	9 653	10 143	10 637	11 133
4 063	4 431	4 809	5 187	5 566	5 944	6 322	6 710	7 098	7 485	7 873	8 271	8 659	9 056
4 939	5 403	5 876	6 345	6 822	7 303	7 785	8 276	8 763	9 257	9 753	10 250	10 747	11 249
4 139	4 515	4 900	5 285	5 671	6 056	6 441	6 836	7 231	7 627	8 022	8 427	8 822	9 227
4 987	5 456	5 933	6 407	6 889	7 374	7 861	8 356	8 849	9 348	9 848	10 350	10 852	11 358
4 152	4 529	4 916	5 302	5 689	6 075	6 462	6 858	7 254	7 651	8 047	8 453	8 850	9 256
4 874	5 332	5 798	6 261	6 732	7 206	7 682	8 166	8 648	9 135	9 624	10 115	10 606	11 101
4 057	4 425	4 802	5 180	5 557	5 935	6 313	6 700	7 087	7 474	7 862	8 259	8 646	9 043
5 052	5 527	6 010	6 490	6 978	7 469	7 963	8 464	8 963	9 468	9 975	10 483	10 993	11 505
4 210	4 592	4 984	5 376	5 768	6 160	6 551	6 953	7 355	7 757	8 159	8 571	8 973	9 385

Газопроводы		Энтальпия, ккал/м³	Тем										
			100	200	300	400	500	600	700	800	900	1 000	1 100
II. Попутные газы													
Производствен- ное объединение	Газопровод												
33. Пермьнефть	Каменный Лог— Пермь	I_{Γ}^0	414	835	1 268	1 713	2 169	2 634	3 112	3 604	4 108	4 619	5 131
		$I_{\text{в}}^0$	352	708	1 070	1 440	1 818	2 205	2 604	3 004	3 405	3 816	4 239
34. То же	Ярино — Пермь	I_{Γ}^0	456	921	1 397	1 887	2 391	2 903	3 430	3 973	4 528	5 091	5 656
		$I_{\text{в}}^0$	390	784	1 186	1 596	2 015	2 444	2 886	3 330	3 774	4 230	4 699
35. Куйбышев- нефть	Кулешовка — Куйбышев	I_{Γ}^0	407	822	1 247	1 684	2 133	2 590	3 060	3 545	4 040	4 543	5 047
		$I_{\text{в}}^0$	347	699	1 058	1 423	1 796	2 179	2 572	2 968	3 364	3 771	4 188
36. То же	Безенчук — Чапаевск	I_{Γ}^0	460	929	1 410	1 905	2 413	2 930	3 462	4 011	4 571	5 139	5 710
		$I_{\text{в}}^0$	394	792	1 199	1 612	2 036	2 469	2 915	3 364	3 813	4 274	4 747
37. Туркмен- нефть	Барса-Гельмес— Вышка—Небит- Даг, Кызыл-Кум —Кум-Даг—Не- бит-Даг, Котур- Тепе—Челекен и др.	I_{Γ}^0	372	752	1 140	1 541	1 951	2 369	2 799	3 242	3 695	4 155	4 617
		$I_{\text{в}}^0$	319	643	972	1 308	1 652	2 003	2 365	2 729	3 093	3 467	3 851
38. Краснодар- нефтегаз	На входе в г. Краснодар, Крымск и Ново- российск	I_{Γ}^0	375	757	1 148	1 551	1 964	2 385	2 817	3 264	3 720	4 183	4 648
		$I_{\text{в}}^0$	321	646	978	1 315	1 661	2 014	2 978	2 744	3 110	3 486	3 872
39. Грознефть	Вознесенская — Грозный, Кара- булак — Гроз- ный	I_{Γ}^0	454	917	1 392	1 880	2 381	2 891	3 416	3 957	4 510	5 072	5 635
		$I_{\text{в}}^0$	392	788	1 193	1 604	2 026	2 457	2 901	3 347	3 794	4 252	4 723
40. Ухта — комбинат	Тэбук — Соснов- ка	I_{Γ}^0	439	885	1 344	1 815	2 299	2 792	3 298	3 821	4 354	4 896	5 440
		$I_{\text{в}}^0$	375	754	1 140	1 534	1 937	2 350	2 774	3 201	3 628	4 066	4 517
41. Башнефтегаз	Туймазы — Уфа	I_{Γ}^0	418	843	1 280	1 729	2 190	2 659	3 141	3 639	4 147	4 663	5 180
		$I_{\text{в}}^0$	356	717	1 085	1 460	1 843	2 236	2 640	3 046	3 452	3 869	4 298
42. То же	Шкапово — Туймазы	I_{Γ}^0	361	730	1 107	1 495	1 894	2 299	2 717	3 147	3 586	4 032	4 480
		$I_{\text{в}}^0$	305	614	928	1 249	1 577	1 912	2 258	2 605	2 952	3 309	3 676
43. Татарская АССР, Минни- баевский ГПЗ	Казань — Бу- гульма — Лени- ногорск — Аль- метьевск	I_{Γ}^0	397	801	1 215	1 641	2 078	2 524	2 982	3 454	3 936	4 426	4 917
		$I_{\text{в}}^0$	338	680	1 028	1 383	1 747	2 118	2 501	2 886	3 271	3 666	4 072
44. Азербайд- жанская ССР, Карадагский ГБЗ	—	I_{Γ}^0	365	736	1 116	1 508	1 909	2 318	2 739	3 173	3 616	4 066	4 518
		$I_{\text{в}}^0$	313	629	952	1 280	1 616	1 960	2 315	2 671	3 027	3 393	3 769

температура, °C														
	1 200	1 300	1 400	1 500	1 600	1 700	1 800	1 900	2 000	2 100	2 200	2 300	2 400	2 500
31	5 647	6 177	6 717	7 252	7 797	8 345	8 895	9 454	10 010	10 573	11 138	11 702	12 268	12 836
39	4 662	5 085	5 519	5 953	6 387	6 821	7 254	7 700	8 145	8 590	9 035	9 489	9 939	10 389
56	6 225	6 809	7 404	7 994	8 594	9 198	9 804	10 421	11 034	11 654	12 277	12 899	13 522	18 148
99	5 168	5 636	6 117	6 598	7 079	7 560	8 041	8 535	9 028	9 521	10 015	10 548	11 017	11 516
17	5 555	6 076	6 608	7 135	7 671	8 210	8 752	9 302	9 850	10 404	10 960	11 516	12 073	12 633
38	4 606	5 024	5 453	5 881	6 310	6 739	7 168	7 607	8 047	8 487	8 926	9 375	9 820	10 265
10	6 284	6 873	7 474	8 070	8 676	9 286	9 898	10 520	11 139	11 765	12 394	13 022	13 651	14 283
17	5 220	5 694	6 180	6 666	7 152	7 638	8 123	8 622	9 120	9 619	10 117	10 626	11 130	11 634
17	5 082	5 559	6 045	6 528	7 019	7 513	8 009	8 514	9 016	9 524	10 033	10 543	11 054	11 567
51	4 235	4 619	5 013	5 408	5 802	6 196	6 590	6 995	7 399	7 803	8 208	8 620	9 029	9 438
3	5 115	5 596	6 086	6 572	7 066	7 563	8 063	8 570	9 076	9 587	10 100	10 613	11 127	11 644
2	4 258	4 644	5 041	5 437	5 833	6 230	6 626	7 033	7 439	7 846	8 252	8 667	9 078	9 489
5	6 202	6 784	7 377	7 966	8 564	9 167	9 772	10 387	10 999	11 618	12 239	12 860	13 483	14 108
3	5 195	5 666	6 149	6 633	7 116	7 600	8 083	8 579	9 075	9 571	10 067	10 573	11 074	11 576
0	5 987	6 549	7 121	7 689	8 266	8 847	9 431	10 024	10 613	11 210	11 809	12 408	13 008	13 610
7	4 967	5 418	5 880	6 342	6 805	7 267	7 729	8 204	8 678	9 152	9 626	10 110	10 590	11 069
0	5 701	6 236	6 781	7 322	7 872	8 425	8 981	9 546	10 108	10 676	11 247	11 817	12 389	12 963
3	4 727	5 156	5 595	6 035	6 475	6 915	7 355	7 807	8 258	8 709	9 160	9 621	10 077	10 534
0	4 930	5 392	5 864	6 331	6 807	7 285	7 766	8 254	8 739	9 231	9 724	10 218	10 712	11 208
6	4 043	4 409	4 786	5 162	5 538	5 915	6 291	6 677	7 063	7 449	7 835	8 229	8 619	9 009
7	5 412	5 920	6 438	6 951	7 473	7 999	8 526	9 063	9 596	10 136	10 678	11 220	11 762	12 307
2	4 479	4 885	5 302	5 718	6 135	6 552	6 969	7 396	7 824	8 252	8 679	9 116	9 548	9 980
3	4 973	5 440	5 916	6 389	6 869	7 353	7 839	8 332	8 824	9 321	9 820	10 319	10 819	11 321
0	4 144	4 520	4 906	5 292	5 678	6 063	6 449	6 845	7 240	7 636	8 032	8 436	8 836	9 236

Газопроводы	Энтальпия, ккал/м³	Тем										
		100	200	300	400	500	600	700	800	900	1 000	1 100
III. Промышленные газы												
45. Газ доменных печей, работающих на коксе и с добавкой природного газа	I_{Γ}^0	55	111	170	230	293	356	421	488	557	626	696
	$I_{\text{в}}^0$	25	50	75	101	128	155	183	211	239	268	297
46. Газ коксовых печей	I_{Γ}^0	166	336	509	687	870	1 056	1 248	1 446	1 647	1 853	2 059
	$I_{\text{в}}^0$	136	274	415	558	704	854	1 009	1 164	1 319	1 478	1 642

**А. ПРИСОСЫ ВОЗДУХА В ГАЗОХОДАХ КОТЕЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ
ПРИ НОМИНАЛЬНОЙ НАГРУЗКЕ**

Таблица XVI

Газоходы		Величина присоса $\Delta\alpha$
Топочные камеры пылеугольных и газомазутных котлов	Камерные с твердым шлакоудалением и металлической обшивкой труб экрана	0,05
	То же при наличии обмуровки и обшивки	0,07
	То же без металлической обшивки	0,1
	Камерные с жидким шлакоудалением и газомазутные с металлической обшивкой	0,05
	То же без металлической обшивки	0,08
	Циклонные под разрежением	0,03
Топочные камеры слоевых топок	Механические и полумеханические	0,1
	Ручные	0,3
Газоходы конвективных поверхностей нагрева	Фестон, ширмовый перегреватель в верху топки, первый котельный пучок $D > 50 \text{ м/ч}$	0
	Первый котельный пучок $D \leq 50 \text{ м/ч}$	0,05
	Второй котельный пучок $D \leq 50 \text{ м/ч}$	0,1
	Первичный перегреватель	0,03
	Промежуточный перегреватель	0,03
	Переходная зона прямоточного котла	0,03
	Экономайзеры котлов $D > 50 \text{ м/ч}$, для каждой ступени	0,02
	Экономайзеры котлов $D \leq 50 \text{ м/ч}$:	
	стальной	0,08
	чугунный с обшивкой	0,1
	чугунный без обшивки	0,2

Продолжение табл. XVI

температура, °C													
1 200	1 300	1 400	1 500	1 600	1 700	1 800	1 900	2 000	2 100	2 200	2 300	2 400	2 500
766	837	910	982	1 055	1 128	1 202	1 277	1 351	1 426	1 501	1 576	1 651	1 727
327	357	387	418	448	479	509	540	571	603	634	666	697	729
2 267	2 481	2 698	2 915	3 135	3 356	3 579	3 805	4 031	4 259	4 488	4 717	4 947	5 177
1 806	1 970	2 138	2 306	2 474	2 642	2 810	2 983	3 155	3 327	3 500	3 676	3 850	4 025

Продолжение табл. XVI

Газоходы		Величина присоса $\Delta\alpha$
Газоходы конвективных поверхностей нагрева	Воздухоподогреватели: трубчатые:	0,03
	для котлов $D > 50$ м/ч, на каждую ступень	0,06
	для котлов $D \leq 50$ м/ч, на каждую ступень	
	регенеративные (вместе горячая и холодная набивки):	0,2
	для котлов $D > 50$ м/ч	0,25
Золоуловители	для котлов $D \leq 50$ м/ч	0,1
	пластинчатые, на каждую ступень	
	чугунные:	0,1
	из ребристых труб, на каждую ступень	0,2
	из ребристых плит, на каждую ступень	
Газоходы за котельным агрегатом	Электрофилтры:	0,1
	для котлов $D > 50$ м/ч	0,15
	для котлов $D \leq 50$ м/ч	0,05
	Циклонные и батарейные, скрубберы	
	Стальные (каждые 10 м длины)	0,01
	Кирпичные боровы (каждые 10 м длины)	0,05

Продолжение табл. XVI

Б. СРЕДНИЕ ЗНАЧЕНИЯ $\Delta\alpha_{пл}$ ДЛЯ СИСТЕМ ПЫЛЕПРИГОТОВЛЕНИЯ

Характеристика пылесистемы	$\Delta\alpha_{пл}$	Характеристика пылесистемы	$\Delta\alpha_{пл}$
Шаровые барабанные мельницы:		Молотковые мельницы:	0,04
		при работе под разрежением	0
		при работе под давлением горячего воздуха	0,04
		Среднеходные валковые мельницы при работе под разрежением	0,2—0,25*
		Мельницы-вентиляторы с подсушивающей трубой	
с промбункером при сушке горячим воздухом	0,1		
с промбункером при сушке смесью воздуха и топочных газов	0,12		
с прямым вдуванием	0,04		

* Верхний предел для высоковлажных топлив.

А. РАСЧЕТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КАМЕРНЫХ ТОПОК С ТВЕРДЫМ ШЛАКОУДАЛЕНИЕМ ДЛЯ КОТЕЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬЮ 75 т/ч И ВЫШЕ ПРИ СЖИГАНИИ ПЫЛЕВИДНОГО ТОПЛИВА

Таблица XVII

Топливо	Коэффициент избытка воздуха на выходе из топки α_T	Допустимое тепловое напряжение топки по условиям горения $q_V \cdot 10^{-3}$, ккал/(м ² ·ч)	Потери тепла от недожога		Доля золы, уносимой газами $a_{ун}$
			химического q_3 , %	механического q_4 , %	
Антрацитовый штыб и полуантрациты	1,2—1,25*	120	0	6—4**	0,95
Тощие угли	1,2—1,25*	140	0	2	0,95
Каменные угли	1,2	150	0	1,0—1,5***	0,95
Отходы углеобогащения	1,2	140	0	2,0—3,0***	0,95
Бурые угли	1,2	160	0	0,5—1,0***	0,95
Фрезерный торф	1,2	140	0	0,5—1,0***	0,95
Сланцы	1,2	100	0	0,5—1,0	0,95

* Большая величина — при транспорте пыли в топку горячим воздухом.

** Меньшие значения — для полуантрацитов.

*** Меньшие значения — для малозольных топлив при $A^H < 6$, большие — для топлив повышенной зольности.

Примечания: 1. При сжигании высокорекреационных топлив в топках с эжекционными амбразурами или амбразурами с горизонтальными рассекающими коэффициент избытка воздуха α_T принимается 1,25 и потеря q_4 увеличивается в 2 раза для каменных углей и в 1,5 раза для бурых по сравнению с значениями, приведенными в таблице.

2. При снижении производительности до 70% номинальной величины q_4 принимается по данной таблице; при производи-

тельности, равной 50%, величина q_4 возрастает в 1,5 раза для всех топлив, кроме фрезерного торфа и сланцев.

3. При сжигании пыли в смеси с газом или мазутом коэффициенты избытка воздуха принимаются как для твердого топлива. При этом потеря тепла от механического недожога равна $a q_4$, где q_4 принимается по данным табл. XVII, а коэффициент a в зависимости от доли газа или мазута в смеси приведен ниже:

Доля газа или мазута в смеси (по теплу) a	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
	1,0	1,4	1,6	1,4	1,1	0,7

Продолжение табл. XVII

Б. РАСЧЕТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КАМЕРНЫХ ТОПОК С ТВЕРДЫМ ШЛАКОУДАЛЕНИЕМ ДЛЯ КОТЕЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬЮ 50—25 т/ч ПРИ СЖИГАНИИ ПЫЛЕВИДНОГО ТОПЛИВА

Топливо	Коэффициент избытка воздуха на выходе из топки α_T	Допустимое тепловое напряжение топки по условиям горения $q_V \cdot 10^{-3}$, ккал/(м ² ·ч), для кот- лов производительностью, т/ч			Потери тепла от недожога, %				Доля золы, уносимой газами $a_{ун}$
					механического q_4 для котлов производительностью, т/ч			химиче- ского q_3	
		25	35	50	25	35	50		
Каменные угли	1,2	220	180	160	5	3	2—3*	0,5	0,95
Бурые угли	1,2	250	210	180	3	1,5—2,0*	1—2*	0,5	0,95
Фрезерный торф	1,2	220	180	160	3	1,5—2,0*	1—2*	0,5	0,95

* Меньшие значения

* Меньшие значения — для малозольных топлив при $A^H < 6$.

РАСЧЕТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОТКРЫТЫХ И ПОЛУОТКРЫТЫХ ТОПОК С ЖИДКИМ ШЛАКОУДАЛЕНИЕМ ДЛЯ КОТЕЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬЮ ВЫШЕ 75 т/ч

Таблица XVIII

Тип топки	Сжигаемые угли	Коэффициент избытка воздуха на выходе из топки α_T	Допустимые тепловые напряжения объема, ккал/(м ³ ·ч)		Потери тепла от недожога, %		Доля золы, уносимой газами $a_{ун}$
			топки по условиям горения $q_V \cdot 10^{-3}$	камеры горения $q_{V,г} \cdot 10^{-3}$	химического q_3	механического q_4	
Открытые	АШ и ПА	1,2—1,25**	125	500—600	0	3—4	0,85
	Тощие угли	1,2—1,25**	160	500—600	0	1,5	0,8
	Каменные угли	1,2	160	650—750	0	0,5	0,8
Полуоткрытые с пережимом	Бурые угли	1,2	180	650—750	0	0,5	0,7—0,8
	АШ и ПА	1,2—1,25**	145	500—600	0	3—4	0,85
	Тощие угли	1,2—1,25**	170	500—600	0	1,0	0,8
	Каменные угли	1,2	170	650—750	0	0,5	0,7—0,8
	Бурые угли	1,2	200	600—800	0	0,5	0,6—0,7

* При открытых топках — зоны ошипованного пояса.

** Большая величина — при транспорте пыли в топку горячим воздухом.

Примечания: 1. При разомкнутых схемах пылеприготовления величина α_T уменьшается до 1,15, а потеря q_4 при сжигании АШ и ПА — на 1% по сравнению с данными таблицы.

2. Меньшие значения $q_{V,г}$ принимаются при легкоплавкой золе, большие — при тугоплавкой.

3. Меньшие значения q_4 — для полуантрацитов, $a_{ун}$ — для топочных устройств с тангенциальным расположением горелок или с у-образным факелом.

4. При сжигании смеси пыли с газом потери от механического недожога принимаются в соответствии с п. 3 примечаний к табл. XVII.

РАСЧЕТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЦИКЛОННЫХ И ДВУХКАМЕРНЫХ ТОПОК

Таблица XIX

Наименование	Обозначение	Размерность	Горизонтальные циклонные топки, сжигающие				Топки с вертикальными предтопками, сжигающие				Двухкамерные топки, сжигающие	
			бурые угли		каменные угли		бурые угли	каменные угли	тощие угли	АШ	бурые угли	каменные угли
			дробленка	грубая пыль	дробленка	грубая пыль						
Потеря тепла от механического недожога в циклоне и в камере догорания	q_4	%	5	2	10	5	—	—	—	—	—	—
То же в предтопке	$q_{4пр}$	%	10	10	15	10	2	2	5	10	2	3
Потери от химической неполноты сгорания в циклоне и камере догорания	q_3	%	0,5	0,5	0,5	0,5	—	—	—	—	—	—
То же в предтопке	$q_{3пр}$	%	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Потеря тепла от механического недожога в конце топки*	q_4	%	0,2		1		0,2	0,5	1	3	0,3	0,5—1
Коэффициент избытка воздуха в циклоне или предтопке (на поданное топливо)	$\alpha_{пр.под}$	—	1,08—1,1		1,08—1,1		1,05	1,05	1,05	1,05	1,08—1,1	1,08—1,1
Коэффициент избытка воздуха на выходе из топки**	α_T	—	1,1—1,2		1,1—1,2		1,1—1,2				1,15—1,2	
Тепловое напряжение сечения циклона или предтопка	$q_F \cdot 10^{-6}$	ккал/(м ² ·ч)	12—14	10—12	12—14	10—12	18—20	16	16	12—15***	5,5—6,0	
Общее тепловое напряжение объема топки по условиям горения	$q_V \cdot 10^{-3}$	ккал/(м ³ ·ч)	250—300		200—250		250—300	225—250	200—250	200—250	180—200	180—200
Тепловое напряжение циклонов (предтопок) и камер догорания в пределах ошипованной зоны	$q_{Vпр} \cdot 10^{-3}$	•	1 100		1 100		650—750	650—750	500—600	500—600	600—700	600—700
Доля золы топлива в уносе*	$a_{ун}$	—	0,1	0,15	0,1	0,15	0,2	0,2—0,25	0,25—0,3	0,35—0,4	0,5—0,6	0,5—0,6

* Без учета возврата уноса.

** Меньшие значения — для прямого вдувания и при разомкнутой схеме пылеприготовления, большие — при полуразомкнутой схеме пылеприготовления.

*** Большие тепловые нагрузки сечения выбираются для более мощных предтопок.

РАСЧЕТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КАМЕРНЫХ ТОПОК КОТЛОВ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬЮ ВЫШЕ 75 т/ч ДЛЯ СЖИГАНИЯ ГОРЮЧИХ ГАЗОВ И МАЗУТОВ

Таблица XX

Топливо	Коэффициент избытка воздуха на выходе из топки α_T	Тепловое напряжение объема топки $q_V \cdot 10^{-3}$, ккал/(м ³ ·ч)	Потеря тепла от химического недожога q_3 , %
Мазут	1,10	250	0,5
Природный или попутный газ, а также коксовый	1,10	300—400	0,5
Доменный газ	1,10	200	1,5

Примечания: 1. Для газомазутных котлов, длительное время работающих на мазуте, характеристики топок принимаются по мазуту.

2. Для котлов $D=120-420$ т/ч тепловое напряжение объема топки q_V может быть увеличено до $300 \cdot 10^3$ ккал/(м³·ч).

Для котлов $D \leq 75$ т/ч q_V могут быть увеличены в несколько раз при той же величине потери q_3 . При этом должны быть приняты меры для обеспечения надежной работы экранов и перегревателя.

3. При автоматическом регулировании подачи топлива и воздуха и присосах в топке не более 0,05 можно принимать величину избытка воздуха на выходе из топки при сжигании мазута $\alpha_T=1,02-1,03$. В котлах сверхкритического давления такие значения α_T допустимы лишь при газоплотных цельносварных экранах, при других ограждениях коэффициент избытка воздуха в горелках принимается $\alpha_T \geq 1,0$, а $\alpha_T = \alpha_T + \Delta \alpha_T$.

4. В котлах с газоплотными цельносварными экранами при сжигании газового топлива принимается $\alpha_T=1,05$.

5. Значения потерь q_3 даны при нагрузках 100÷50% номинальной и сохраняются при $\alpha_T=1,02-1,03$. Потеря от механического недожога незначительна и не учитывается.

РАСЧЕТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СЛОЕВЫХ

Наименование величин	Обозначение	Размерность	Топки с цепной решеткой прямого хода	Шахтно-цепные топки	Топки с пневматическими забрасывателями и цепной решеткой прямого хода			
			днецкий антрацит АС, АМ, $A^p=2$	торф кусковой, $W^p=45-50\%$, $A^p=3$	каменные угли ¹		бурые угли	
					типа кузнецких Г и Д, $A^p=1,4$	типа донецких Г и Д, $A^p=3,2$	типа артемовского, $W^p=7,4$, $A^p=4,2$	типа веселовского, $W^p=8,4$, $A^p=6,5$
Видимое теплонапряжение зеркала горения	BQ_H^2/R	$10^3 \cdot \text{ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$	800—1 000	1 500—1 900 ²	1 000	1 000	1 400	1 400
Видимое теплонапряжение топочного объема по условиям горения	BQ_H^p/V_T	$10^3 \text{ ккал}/(\text{м}^3 \cdot \text{ч})$						
Коэффициент избытка воздуха в топке ³	α_T	—	1,5—1,6	1,3	1,3—1,4	1,3—1,4	1,3—1,4	1,3—1,4
Доля золы топлива в уносе	$a_{ун}$	%	10	—	20/9	17/7,5	19/8,5	15/7
Потери от химической неполноты сгорания	q_3	%	0,5	1				
Потери со шлаком ⁴	$q_{4шл}$	%	5	—	1,5	2,5	3	4,5
Потери с уносом ⁴	$q_{4ун}$	%	8,5/5	—	4/1,5	3,5/1	2,5/1	3/1
Суммарная потеря от механической неполноты сгорания ⁴	q_4	%	13,5/10	2	5,5/3	6/3,5	5,5/4	7,5/5,5
Давление воздуха под решеткой	p_p	мм вод. ст.	100	100	80	80	80	80
Температура дутьевого воздуха	t_v	°C	25 или 150—200	250	25 или 150—200	25 или 150—200	200—250	200—250

Наименование величин	Обозначение	Размерность	Топки с пневматическими забрасывателями			
			днецкий антрацит АС и АМ, $A^p=2$	каменные угли		
				типа кузнецких Г и Д, $A^p=1,4$	типа донецких Г и Д, $A^p=3,2$	типа кузнецких ГСС, $A^p=1,69$
Видимое теплонапряжение зеркала горения	BQ_H^p/R	$10^3 \cdot \text{ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$	800—1 000	800—1 000	800—1 000	800—1 000
Видимое теплонапряжение топочного объема по условиям горения	BQ_H^p/V_T	$10^3 \cdot \text{ккал}/(\text{м}^3 \cdot \text{ч})$				200—
Коэффициент избытка воздуха в топке ³	α_T	—	1,6—1,7	1,4—1,5	1,4—1,5	1,4—1,5
Доля золы топлива в уносе ⁴	$a_{ун}$	%	10	16/7	13/6	16/7
Потери от химической неполноты сгорания	q_3	%				0,5—
Потери со шлаком ⁴	$q_{4шл}$	%	5	2	3,5	3
Потери с уносом ⁴	$q_{4ун}$	%	8,5/5	3,5/1	3/1	8/2
Суммарная потеря от механической неполноты сгорания	q_4	%	13,5/10	5,5/3	6,5/4,5	11/5
Давление воздуха под решеткой	p_p	мм вод. ст.	100	80	80	80
Температура дутьевого воздуха	t_v	°C	25 или 150—200	25 или 150—200	25 или 150—200	25 или 150—200

¹ Сжигание каменных углей с легкоплавкой золой в топках данного типа не рекомендуется.

² Меньшее значение—для котлов $D \leq 20 \text{ м/ч}$.

³ Меньшее значение—для котлов $D > 10 \text{ м/ч}$.

⁴ Значения потерь от механического недожога при сжигании каменных углей с большим выходом летучих и бурых углей даны для рядового для кузнецкого угля ГСС содержание пылевых частиц принято 5%. В общем случае потеря с уносом изменяется прямо пропорционально числителю дробей—значению потери при отсутствии средств уменьшения уноса, знаменателю—значению потери при наличии острого дутья и в 1,5—2 раза.

⁵ Меньшее значение—для котлов $D \leq 10 \text{ м/ч}$; за расчетную площадь зеркала горения принимается площадь зажимающей решетки, определя

МЕХАНИЗИРОВАННЫХ ТОПОК

Таблица XXI

Топки с пневматическими забрасывателями и цепной решеткой обратного хода									Для котлов производитель- ностью выше 2 т/ч
каменные угли				бурые угли					эстонские сланцы, $W^p=5$, $A^p=21$
типа куз- нецких Г и Д, $A^p=1,4$	типа до- нецких Г и Д, $A^p=3,2$	типа су- чанского, $A^p=5,7$	типа куз- нецкого ГСС, $A^p=1,69$	типа ирша-бо- родинского, $W^p=8,8$, $A^p=4,6$	типа артемов- ского, $W^p=$ $=7,4$, $A^p=4,2$	типа веселов- ского, $W^p=$ $=8,4$, $A^p=6,5$	типа хараиор- ского, $W^p=$ $=13,3$, $A^p=2,9$	типа подмос- ковного, $W^p=12,8$, $A^p=8,9$	
1 200— 1 500	1 200— 1 500	1 200— 1 400	1 200— 1 500	1 200—1 500	1 200—1 500	1 200—1 500	1 200—1 500	1 000—1 200	1 000—1 200
250—400									200—300
1,3—1,4	1,3—1,4	1,3—1,4	1,3—1,4	1,3—1,4	1,3—1,4	1,3—1,4	1,3—1,4	1,3—1,4	1,4
20/9	17/7,5	11/5	20/8	27/12	19/8,5	15/7	19/8,5	11/5	—
0,5—1									3
1,5 4/1,5 5,5/3	2,5 3,5/1 6/3,5	4,5 3/1 7,5/5,5	2 9/3 11/5	1,5 4,5/1,5 6/3	3 2,5/1 5,5/4	4,5 3/1 7,5/5,5	2,5 4,5/1,5 7/4	4,5 2,5/1 7,5/5,5	2 1 3
50	50	50	50	50	50	50	50	50	60
25 или 150—200	25 или 150—200	25 или 150—200	25 или 150—200	150—200	150—200	150—250	150—250	150—250	25 или 200—250

Продолжение табл. XXI

бурые угли					Шахтные топки с наклонной решеткой		Топки скоростного горения	
типа ирша-бо- родинского, $W^p=8,8$, $A^p=1,6$	типа артемов- ского, $W^p=$ $=7,4$, $A^p=4,2$	типа веселов- ского, $W^p=8,4$, $A^p=5,5$	типа хараиор- ского, $W^p=$ $=13,3$, $A^p=2,9$	типа подмос- ковного, $W^p=12,8$, $A^p=8,9$	торф кусковой, $W^p=40\%$, $A^p=2,6$	древесные от- ходы, $W^p=50\%$	рубленая щепа, $W^p=50\%$	дробленые отходы и опил- ки, $W^p=50\%$
800—1 000	800—1 000	800—1 000	800—1 000	700—900	1 100	500 ⁵	5 000—6 000 ⁵	2 000—4 000
300								
1,4—1,5	1,4—1,5	1,4—1,5	1,4—1,5	1,4—1,5	1,4	1,4	1,2	1,3
22/9,5	15/7	12,5/5,5	15/7	10,5/5	—	—	—	—
2	3,5	5,5	4	7	2	2	1	1
4/1	2/0,5	2,5/1	3,5/1	2/0,5	1	—	—	—
6/3	5,5/4	8/6,5	7,5/5	9/7,5	1	2	2	4/2
80	80	80	80	80	2	2	2	4/2
25 или 150—200	25 или 150—200	25 или 150—250	25 или 150—250	25 или 150—250	60 200—250	80 200—250	70 200—250	100 200—250

топлива с максимальным размером куса 25—30 мм и содержанием мелочи (0—3 мм) до 30%, а пылевых частиц (0—0,09 мм)—2,5%.

содержанию пылевых частиц в топливе.
Потери с механическим недожогом в зависимости от качества топлива и особенностей котельной установки могут быть больше в
емя как произведение длины активной части решетки на ширину предтопка в свету.

СТЕПЕНЬ ВЫГОРАНИЯ ТОПЛИВА $\beta_{ст}$ ПО ВЫСОТЕ ТОПКИ
(ПО ПОДАННОМУ ТОПЛИВУ)

Таблица XXII

Топливо	Относительная высота топки h_i/H_T					
	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50	1,00
Антрацитовый штыб и полуантрациты	0,72—0,86	0,86—0,90	0,92—0,95	0,93—0,96	0,94—0,97	0,96—0,97
Каменные угли	0,90—0,94	0,92—0,96	0,95—0,97	0,96—0,98	0,98—0,99	0,98—0,995
Бурые угли	0,91—0,95	0,93—0,97	0,96—0,98	0,97—0,98	0,98—0,99	0,99—0,995
Газ и мазут при $\alpha_T \approx 1,02$	—	—	0,94—0,96	0,96—0,98	0,97—0,99	0,995

УДЕЛЬНЫЕ ОБЪЕМЫ И ЭНТАЛЬПИИ СУХОГО НАСЫЩЕННОГО
ПАРА И ВОДЫ НА КРИВОЙ НАСЫЩЕНИЯ

Таблица XXIII

$P, \text{ кгс/см}^2$	$t, ^\circ\text{C}$	$v', \text{ м}^3/\text{кг}$	$v'', \text{ м}^3/\text{кг}$	$i', \text{ ккал/кг}$	$i'', \text{ ккал/кг}$	$r, \text{ ккал/кг}$	$P, \text{ кгс/см}^2$	$t, ^\circ\text{C}$	$v', \text{ м}^3/\text{кг}$	$v'', \text{ м}^3/\text{кг}$	$i', \text{ ккал/кг}$	$i'', \text{ ккал/кг}$	$r, \text{ ккал/кг}$
0,010	6,698	0,0010001	132,0	6,72	600,3	594,6	11,0	183,20	0,0011319	0,1807	185,6	663,9	478,3
0,020	17,202	0,0010012	68,26	17,23	604,9	587,7	12,0	187,08	0,0011373	0,1663	189,8	664,6	474,8
0,030	23,774	0,0010026	46,52	23,78	607,8	584,0	13,0	190,71	0,0011425	0,1540	193,6	665,3	471,7
0,040	28,645	0,0010039	35,45	28,66	609,9	581,2	14,0	194,13	0,0011476	0,1434	197,3	665,8	468,5
0,050	32,55	0,0010051	28,72	32,56	611,6	579,0	15,0	197,36	0,0011524	0,1341	200,7	666,3	465,6
0,060	35,83	0,0010062	24,18	35,83	613,0	577,2	16,0	200,43	0,0011572	0,1260	204,0	666,8	462,8
0,070	38,66	0,0010073	20,91	38,66	614,2	575,3	17,0	203,35	0,0011618	0,1188	207,2	667,2	460,0
0,080	41,16	0,0010083	18,44	41,16	615,3	574,1	18,0	206,14	0,0011662	0,1124	210,2	667,5	457,3
0,090	43,41	0,0010093	16,51	43,41	616,2	572,8	19,0	208,82	0,0011706	0,1066	213,1	667,8	454,7
0,10	45,45	0,0010101	14,95	45,44	617,1	571,7	20,0	211,38	0,0011749	0,1014	215,9	668,0	452,1
0,12	49,06	0,0010117	12,59	49,04	618,6	569,6	21,0	213,85	0,0011791	0,09671	218,6	668,3	449,7
0,14	52,18	0,0010131	10,90	52,15	620,0	567,8	22,0	216,23	0,0011833	0,09240	221,2	668,5	447,3
0,16	54,93	0,0010145	9,610	54,91	621,1	566,2	23,0	218,53	0,0011873	0,08844	223,8	668,6	444,8
0,18	57,41	0,0010158	8,603	57,38	622,2	564,8	24,0	220,75	0,0011913	0,08481	226,2	668,8	442,6
0,20	59,67	0,0010170	7,793	59,64	623,1	563,5	25,0	222,90	0,0011952	0,08145	228,6	668,9	440,3
0,22	61,74	0,0010181	7,126	61,71	624,0	562,3	26,0	224,99	0,0011991	0,07835	230,9	669,0	438,1
0,24	63,65	0,0010192	6,568	63,62	624,8	561,2	27,0	227,01	0,0012030	0,07546	233,2	669,1	435,9
0,26	65,43	0,0010202	6,093	65,40	625,5	560,1	28,0	228,98	0,0012067	0,07278	235,4	669,1	433,7
0,28	67,10	0,0010211	5,683	67,08	626,2	559,1	29,0	230,89	0,0012105	0,07028	237,5	669,2	431,7
0,30	68,68	0,0010220	5,327	68,65	626,9	558,3	30,0	232,76	0,0012142	0,06793	239,6	669,2	429,6
0,40	75,42	0,0010262	4,069	75,40	629,4	554,0	31,0	234,57	0,0012178	0,06573	241,7	669,2	427,5
0,50	80,86	0,0010298	3,301	80,86	631,7	550,8	32,0	236,34	0,0012214	0,06367	243,7	669,2	425,5
0,60	85,45	0,0010329	2,783	85,46	633,5	548,0	33,0	238,07	0,0012250	0,06172	245,6	669,2	423,6
0,70	89,45	0,0010357	2,409	89,47	635,1	545,6	34,0	239,79	0,0012286	0,05989	247,6	669,2	421,6
0,80	92,99	0,0010383	2,126	93,03	636,4	543,4	35,0	241,42	0,0012321	0,05815	249,5	669,1	419,6
0,90	96,18	0,0010407	1,905	96,24	637,7	541,5	36,0	243,04	0,0012356	0,05651	251,3	669,0	417,7
1,0	99,09	0,0010431	1,726	99,17	638,8	539,6	37,9	244,62	0,0012391	0,05496	253,1	669,0	415,9
1,5	110,79	0,0010525	1,181	110,98	643,1	532,1	38,0	246,17	0,0012425	0,05348	254,9	668,9	414,0
2,0	119,62	0,0010603	0,9023	119,92	646,3	526,4	39,0	247,69	0,0012460	0,05208	256,7	668,8	412,1
2,5	126,79	0,0010669	0,7321	127,2	648,7	521,5	40,0	249,18	0,0012494	0,05074	258,4	668,7	410,3
3,0	132,88	0,0010728	0,6171	133,4	650,7	517,3	41,0	250,64	0,0012528	0,04947	260,1	668,6	408,5
3,5	138,19	0,0010782	0,5339	138,9	652,4	513,5	42,0	252,07	0,0012562	0,04826	261,8	668,5	406,7
4,0	142,92	0,0010831	0,4710	143,7	653,8	510,1	43,0	253,48	0,0012595	0,04710	263,4	668,4	405,0
4,5	147,20	0,0010877	0,4216	148,1	655,1	507,0	44,0	254,87	0,0012628	0,04599	265,0	668,2	403,2
5,0	151,11	0,0010920	0,3818	152,1	656,2	504,1	45,0	256,23	0,0012662	0,04492	266,6	668,1	401,5
6,0	158,08	0,0011000	0,3214	159,3	658,1	498,8	46,0	257,56	0,0012695	0,04391	268,2	667,9	399,7
7,0	164,17	0,0011072	0,2778	165,7	659,7	494,0	47,0	258,88	0,0012728	0,04293	269,8	667,8	398,0
8,0	169,61	0,0011140	0,2448	171,3	661,0	489,7	48,0	260,17	0,0012761	0,04200	271,3	667,6	396,3
9,0	174,53	0,0011203	0,2189	176,5	662,1	485,6	49,0	261,45	0,0012794	0,04110	272,8	667,4	394,6
10,0	179,04	0,0011262	0,1980	181,2	663,1	481,9	50,0	262,70	0,0012826	0,04023	274,3	667,2	392,9

Продолжение табл. XXIII

$P, \text{ кгс/см}^2$	$t, ^\circ\text{C}$	$v', \text{ м}^3/\text{кг}$	$v'', \text{ м}^3/\text{кг}$	$i', \text{ ккал/кг}$	$i'', \text{ ккал/кг}$	$r, \text{ ккал/кг}$	$P, \text{ кгс/см}^2$	$t', ^\circ\text{C}$	$v', \text{ м}^3/\text{кг}$	$v'', \text{ м}^3/\text{кг}$	$i', \text{ ккал/кг}$	$i'', \text{ ккал/кг}$	$r, \text{ ккал/кг}$
52,0	265,15	0,0012891	0,03860	277,2	666,8	389,6	138,0	333,95	0,001590	0,01217	371,2	632,9	261,7
54,0	267,53	0,0012956	0,03708	280,1	666,4	386,3	140,0	335,08	0,001598	0,01182	373,1	631,7	258,6
56,0	269,84	0,0013021	0,03566	282,9	666,0	383,1	142,0	336,20	0,001607	0,01158	374,9	630,5	255,6
58,0	272,10	0,0013085	0,03434	285,7	665,6	379,9	144,0	337,31	0,001616	0,01134	376,8	629,3	252,5
60,0	274,29	0,0013149	0,03311	288,4	665,1	376,7	146,0	338,40	0,001625	0,01111	378,6	628,1	249,5
62,0	276,43	0,0013213	0,03195	291,0	664,6	373,6	148,0	339,48	0,001634	0,01089	380,5	626,9	246,4
64,0	278,51	0,0013277	0,03086	293,6	664,0	370,4	150,0	340,55	0,001644	0,01067	382,3	625,7	243,4
66,0	280,55	0,0013341	0,02983	296,1	663,5	367,4	152,0	341,61	0,001653	0,01045	384,2	624,4	240,2
68,0	282,54	0,0013405	0,02887	298,6	662,9	364,3	154,0	342,66	0,001663	0,01024	386,0	623,1	237,1
70,0	284,48	0,0013469	0,02795	301,1	662,4	361,3	156,0	343,70	0,001673	0,01003	387,8	621,8	234,0
72,0	286,39	0,0013534	0,02708	303,5	661,8	358,3	158,0	344,72	0,001683	0,009833	389,7	620,4	230,7
74,0	288,25	0,0013598	0,02626	305,9	661,1	355,2	160,0	345,74	0,001693	0,009635	391,5	619,1	227,6
76,0	290,08	0,0013662	0,02548	308,3	660,5	352,2	162,0	346,74	0,001704	0,009440	393,4	617,7	224,3
78,0	291,86	0,0013727	0,02474	310,6	659,8	349,2	164,0	347,74	0,001715	0,009250	395,2	616,3	221,1
80,0	293,62	0,0013792	0,02403	312,9	659,2	346,3	166,0	348,72	0,001726	0,009063	397,1	614,8	217,7
82,0	295,34	0,0013857	0,02335	315,2	658,5	343,3	168,0	349,69	0,001737	0,008879	399,0	613,7	214,4
84,0	297,03	0,0013922	0,02271	317,4	657,8	340,4	170,0	350,66	0,001749	0,008698	400,9	611,9	211,0
86,0	298,69	0,0013988	0,02210	319,6	657,1	337,5	172,0	351,62	0,001761	0,008520	402,8	610,3	207,5
88,0	300,31	0,0014053	0,02151	321,8	656,3	334,5	174,0	352,56	0,001773	0,008344	404,7	608,7	204,0
90,0	301,92	0,0014120	0,02094	323,9	655,6	331,7	176,0	353,50	0,001786	0,008171	406,6	607,1	200,5
92,0	303,49	0,0014186	0,02040	326,1	654,8	328,7	178,0	354,43	0,001799	0,008000	408,5	605,4	196,9
94,0	305,04	0,0014254	0,01988	328,2	654,0	325,8	180,0	355,35	0,001812	0,007831	410,5	603,7	193,2
96,0	306,56	0,0014321	0,01938	330,3	653,2	322,9	182,0	356,26	0,001827	0,007663	412,5	602,0	189,5
98,0	308,06	0,0014389	0,01890	332,4	652,4	320,0	184,0	357,16	0,001841	0,007497	414,5	600,1	185,6
100,0	309,53	0,0014458	0,01844	334,4	651,6	317,2	186,0	358,06	0,001857	0,007332	416,5	598,2	181,7
102,0	310,98	0,0014526	0,01800	336,5	650,7	314,2	188,0	358,94	0,001873	0,007168	418,6	596,2	177,6
104,0	312,41	0,0014596	0,01757	338,5	649,9	311,4	190,0	359,82	0,001889	0,00700	420,7	594,2	173,5
106,0	313,82	0,0014666	0,01716	340,5	649,0	308,5	192,0	360,69	0,001907	0,00684	422,8	592,0	169,2
108,0	315,21	0,0014737	0,01676	342,5	648,1	305,6	194,0	361,55	0,001925	0,00668	425,0	589,7	164,7
110,0	316,58	0,001481	0,01637	344,5	647,2	302,7	196,0	362,40	0,001945	0,00652	427,2	587,2	160,0
112,0	317,93	0,001488	0,01600	346,4	646,3	299,9	198,0	363,25	0,001966	0,00635	429,5	584,7	155,2
114,0	319,26	0,001495	0,01564	348,4	645,3	296,9	200,0	364,08	0,00199	0,00619	431,9	582,1	150,2
116,0	320,57	0,001503	0,01529	350,4	644,4	294,0	202,0	364,91	0,00201	0,00603	434,3	579,3	145,0
118,0	321,87	0,001510	0,01495	352,3	643,4	291,1	204,0	365,73	0,00204	0,00587	436,9	576,4	139,5
120,0	323,15	0,001518	0,01462	354,2	642,4	288,2	206,0	366,55	0,00207	0,00570	439,5	573,4	133,9
122,0	324,41	0,001525	0,01431	356,1	641,4	285,3	208,0	367,36	0,00210	0,00554	442,3	570,2	127,9
124,0	325,65	0,001533	0,01400	358,1	640,4	282,3	210,0	368,16	0,00213	0,00537	445,2	566,8	121,6
126,0	326,88	0,001541	0,01370	360,0	639,4	279,4	212,0	368,95	0,00217	0,00520	448,4	563,2	114,8
128,0	328,10	0,001549	0,01341	361,8	638,4	276,6	214,0	369,73	0,00221	0,00502	451,7	559,2	107,5
130,0	329,30	0,001557	0,01313	363,7	637,3	273,6	216,0	370,51	0,00226	0,00483	455,3	554,9	99,6
132,0	330,48	0,001565	0,01285	365,6	636,2	270,6	218,0	371,28	0,00232	0,00463	459,2	549,9	90,7
134,0	331,65	0,001573	0,01258	367,5	635,1	267,6	220,0	372,05	0,00240	0,00441	464,1	544,0	79,9
136,0	332,81	0,001581	0,01232	369,4	634,0	264,6							

270
280
290

УДЕЛЬНЫЕ ОБЪЕМЫ И ЭНТАЛЬПИИ ВОДЫ

Таблица XXIV

	$v, \text{ м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ ккал/кг}$	$v, \text{ м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ ккал/кг}$	$v, \text{ м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ ккал/кг}$	$t, ^\circ\text{C}$	$v, \text{ м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ ккал/кг}$	$v, \text{ м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ ккал/кг}$	$v, \text{ м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ ккал/кг}$
300C 310													
	$p=1,0 \text{ кгс/см}^2$	$p=2,0 \text{ кгс/см}^2$		$p=3,0 \text{ кгс/см}^2$			$p=1,0 \text{ кгс/см}^2$	$p=2,0 \text{ кгс/см}^2$		$p=3,0 \text{ кгс/см}^2$			
• 0	0,0010002	0,0	0,0010001	0,0	0,0010001	0,1	50	0,0010121	50,0	0,0010120	50,0	0,0010120	50,1
10	0,0010002	10,1	0,0010002	10,1	0,0010001	10,1	60	0,0010171	60,0	0,0010171	60,0	0,0010170	60,1
20	0,0010017	20,1	0,0010016	20,1	0,0010016	20,1	70	0,0010228	70,0	0,0010228	70,0	0,0010227	70,0
30	0,0010043	30,0	0,0010042	30,1	0,0010042	30,1	80	0,0010292	80,0	0,0010291	80,0	0,0010291	80,0
40	0,0010078	40,0	0,0010077	40,0	0,0010077	40,1	90	0,0010361	90,0	0,0010361	90,1	0,0010360	90,1

$t, ^\circ\text{C}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$	$t, ^\circ\text{C}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$
	$p=1,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$		$p=2,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$		$p=3,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$			$p=30,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$		$p=40,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$		$p=50,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$	
100			0,0010437	100,1	0,0010436	100,1	0	0,0009988	0,7	0,0009983	0,9	0,0009978	1,2
110			0,0010518	110,2	0,0010518	110,2	10	0,0009989	10,7	0,0009984	10,9	0,0009979	11,2
120					0,0010606	120,3	20	0,0010004	20,7	0,0009999	20,9	0,0009995	21,1
130					0,0010700	130,5	30	0,0010030	30,6	0,0010026	30,9	0,0010021	31,1
							40	0,0010065	40,6	0,0010061	40,8	0,0010056	41,0
	$p=4,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$		$p=6,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$		$p=8,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$								
0	0,0010000	0,1	0,0009999	0,1	0,0009998	0,2	50	0,0010108	50,6	0,0010104	50,8	0,0010099	51,0
10	0,0010001	10,1	0,0010000	10,2	0,0009999	10,2	60	0,0010158	60,6	0,0010154	60,8	0,0010149	60,9
20	0,0010015	20,1	0,0010015	20,2	0,0010014	20,2	70	0,0010215	70,5	0,0010210	70,7	0,0010206	70,9
30	0,0010041	30,1	0,0010040	30,1	0,0010040	30,2	80	0,0010278	80,5	0,0010273	80,7	0,0010269	80,9
40	0,0010076	40,1	0,0010076	40,1	0,0010075	40,1	90	0,0010347	90,6	0,0010342	90,7	0,0010337	90,9
50	0,0010119	50,1	0,0010119	50,1	0,0010118	50,1	100	0,0010422	100,6	0,0010417	100,8	0,0010412	101,0
60	0,0010170	60,0	0,0010169	60,1	0,0010168	60,1	110	0,0010503	110,7	0,0010498	110,8	0,0010493	111,0
70	0,0010227	70,0	0,0010226	70,1	0,0010225	70,1	120	0,0010590	120,8	0,0010585	120,9	0,0010579	121,1
80	0,0010290	80,1	0,0010289	80,1	0,0010288	80,1	130	0,0010684	130,9	0,0010678	131,1	0,0010672	131,2
90	0,0010360	90,1	0,0010359	90,1	0,0010358	90,2	140	0,0010784	141,1	0,0010778	141,3	0,0010771	141,4
100	0,0010436	100,1	0,0010434	100,2	0,0010433	100,2	150	0,0010891	151,4	0,0010884	151,5	0,0010877	151,6
110	0,0010517	110,2	0,0010516	110,3	0,0010515	110,3	160	0,0011005	161,7	0,0010998	161,8	0,0010991	161,9
120	0,0010605	120,3	0,0010604	120,4	0,0010603	120,4	170	0,0011127	172,0	0,0011120	172,2	0,0011112	172,3
130	0,0010700	130,5	0,0010698	130,5	0,0010697	130,6	180	0,0011258	182,5	0,0011250	182,6	0,0011242	182,7
140	0,0010800	140,7	0,0010799	140,7	0,0010798	140,8	190	0,0011399	193,1	0,0011390	193,2	0,0011381	193,3
150			0,0010907	151,0	0,0010906	151,0	200	0,0011551	203,7	0,0011541	203,8	0,0011530	203,9
160					0,0011021	161,4	210	0,0011714	214,5	0,0011703	214,6	0,0011692	214,7
	$p=10,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$		$p=15,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$		$p=20,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$		220	0,0011892	225,4	0,0011879	225,5	0,0011867	225,6
0	0,0009997	0,2	0,0009995	0,3	0,0009992	0,5	230	0,0012085	236,5	0,0012071	236,6	0,0012057	236,6
10	0,0009998	10,3	0,0009996	10,4	0,0009993	10,5	240			0,0012282	247,8	0,0012266	247,9
20	0,0010013	20,2	0,0010011	20,4	0,0010008	20,5	250					0,0012496	259,3
30	0,0010039	30,2	0,0010036	30,3	0,0010034	30,4	260					0,0012752	271,1
40	0,0010074	40,2	0,0010072	40,3	0,0010069	40,4		$p=60,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$		$p=70,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$		$p=80,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$	
50	0,0010117	50,2	0,0010115	50,3	0,0010112	50,4	0	0,0009973	1,4	0,0009968	1,7	0,0009963	1,9
60	0,0010167	60,2	0,0010165	60,3	0,0010162	60,4	10	0,0009975	11,4	0,0009970	11,6	0,0009966	11,8
70	0,0010224	70,2	0,0010222	70,3	0,0010219	70,4	20	0,0009991	21,3	0,0009986	21,6	0,0009982	21,8
80	0,0010287	80,2	0,0010285	80,3	0,0010283	80,4	30	0,0010017	31,3	0,0010013	31,5	0,0010008	31,7
90	0,0010357	90,2	0,0010354	90,3	0,0010352	90,4	40	0,0010052	41,2	0,0010048	41,4	0,0010044	41,6
100	0,0010432	100,2	0,0010430	100,3	0,0010427	100,4	50	0,0010095	51,2	0,0010091	51,4	0,0010086	51,6
110	0,0010514	110,3	0,0010511	110,4	0,0010509	110,5	60	0,0010145	61,1	0,0010140	61,3	0,0010136	61,5
120	0,0010602	120,4	0,0010599	120,5	0,0010596	120,6	70	0,0010201	71,1	0,0010197	71,3	0,0010192	71,5
130	0,0010696	130,7	0,0010693	130,7	0,0010690	130,8	80	0,0010264	81,1	0,0010259	81,3	0,0010255	81,5
140	0,0010797	140,8	0,0010793	140,9	0,0010790	141,0	90	0,0010332	91,1	0,0010328	91,3	0,0010323	91,5
150	0,0010904	151,1	0,0010901	151,1	0,0010898	151,2	100	0,0010407	101,1	0,0010402	101,3	0,0010397	101,5
160	0,0011020	161,4	0,0011016	161,4	0,0011012	161,5	110	0,0010487	111,2	0,0010482	111,4	0,0010477	111,5
170	0,0011143	171,8	0,0011139	171,9	0,0011135	171,9	120	0,0010574	121,3	0,0010568	121,4	0,0010563	121,6
180			0,0011271	182,3	0,0011267	182,4	130	0,0010666	131,4	0,0010660	131,6	0,0010654	131,7
190			0,0011413	192,9	0,0011408	193,0	140	0,0010765	141,6	0,0010759	141,7	0,0010753	141,9
200					0,0011561	203,6	150	0,0010871	151,8	0,0010864	151,9	0,0010858	152,1
210					0,0011725	214,4	160	0,0010984	162,1	0,0010976	162,2	0,0010969	162,4
							170	0,0011104	172,4	0,0011097	172,6	0,0011089	172,7
							180	0,0011233	182,9	0,0011225	183,0	0,0011217	183,1
							190	0,0011372	193,4	0,0011363	193,5	0,0011354	193,6

Продолжение табл. XXIV

$t, ^\circ\text{C}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$	$t, ^\circ\text{C}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$
$p=60,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$							$p=120,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$						
200	0,0011521	204,0	0,0011511	204,1	0,0011501	204,2	50	0,0010069	52,4	0,0010065	52,6	0,0010061	52,8
210	0,0011681	214,8	0,0011670	214,8	0,0011660	214,9	60	0,0010119	62,3	0,0010114	62,5	0,0010110	62,7
220	0,0011855	225,6	0,0011843	225,7	0,0011831	225,8	70	0,0010174	72,3	0,0010170	72,4	0,0010166	72,6
230	0,0012044	236,7	0,0012030	236,7	0,0012017	236,8	80	0,0010236	82,2	0,0010232	82,4	0,0010227	82,6
240	0,0012250	247,9	0,0012235	247,9	0,0012220	248,0	90	0,0010304	92,2	0,0010299	92,4	0,0010295	92,6
$p=70,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$							$p=130,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$						
250	0,0012478	259,3	0,0012460	259,3	0,0012443	259,3	100	0,0010377	102,2	0,0010372	102,4	0,0010367	102,5
260	0,0012731	271,0	0,0012711	271,0	0,0012691	271,0	110	0,0010456	112,2	0,0010451	112,4	0,0010446	112,6
270	0,0013016	283,1	0,0012991	283,0	0,0012968	282,9	120	0,0010541	122,3	0,0010536	122,4	0,0010530	122,6
280			0,0013311	295,4	0,0013282	295,3	130	0,0010631	132,4	0,0010626	132,5	0,0010620	132,7
290					0,0013645	308,1	140	0,0010728	142,5	0,0010722	142,6	0,0010716	142,8
$p=80,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$							$p=140,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$						
0	0,0009958	2,1	0,0009954	2,4	0,0009949	2,6	150	0,0010832	152,7	0,0010825	152,8	0,0010819	153,0
10	0,0009961	12,1	0,0009957	12,3	0,0009952	12,5	160	0,0010942	162,9	0,0010935	163,0	0,0010928	163,2
20	0,0009978	22,0	0,0009973	22,2	0,0009969	22,4	170	0,0011059	173,2	0,0011052	173,4	0,0011045	173,5
30	0,0010004	31,9	0,0010000	32,1	0,0009996	32,4	180	0,0011185	183,6	0,0011177	183,7	0,0011169	183,8
40	0,0010039	41,8	0,0010035	42,1	0,0010031	42,3	190	0,0011319	194,1	0,0011310	194,2	0,0011302	194,3
50	0,0010082	51,8	0,0010078	52,0	0,0010074	51,2	200	0,0011463	204,6	0,0011454	204,7	0,0011444	204,8
60	0,0010132	61,7	0,0010127	61,9	0,0010123	62,1	210	0,0011618	215,3	0,0011607	215,4	0,0011597	215,5
70	0,0010188	71,7	0,0010183	71,9	0,0010179	72,1	220	0,0011784	226,1	0,0011773	226,1	0,0011762	226,2
80	0,0010250	81,6	0,0010245	81,8	0,0010241	82,0	230	0,0011965	237,0	0,0011952	237,1	0,0011940	237,1
90	0,0010318	91,6	0,0010313	91,8	0,0010309	92,0	240	0,0012161	248,1	0,0012147	248,1	0,0012133	248,2
100	0,0010392	101,6	0,0010387	101,8	0,0010382	102,0	250	0,0012376	259,4	0,0012360	259,4	0,0012344	259,4
110	0,0010472	111,7	0,0010466	111,9	0,0010461	112,0	260	0,0012613	270,9	0,0012595	270,9	0,0012576	270,9
120	0,0010557	121,8	0,0010552	121,9	0,0010546	122,1	270	0,0012877	282,7	0,0012855	282,6	0,0012834	282,6
130	0,0010649	131,9	0,0010643	132,0	0,0010637	132,2	280	0,0013173	294,8	0,0013147	294,7	0,0013122	294,6
140	0,0010746	142,2	0,0010740	142,2	0,0010734	142,3	290	0,0013511	307,4	0,0013480	307,2	0,0013449	307,1
150	0,0010851	152,2	0,0010844	152,4	0,0010838	152,5	300	0,0013904	320,5	0,0013865	320,2	0,0013827	320,0
160	0,0010962	162,5	0,0010955	162,6	0,0010949	162,8	310	0,0014374	334,3	0,0014323	334,0	0,0014273	333,6
170	0,0011082	172,8	0,0011074	173,0	0,0011067	173,1	320	0,0014958	349,2	0,0014887	348,7	0,0014819	348,2
180	0,0011209	183,2	0,0011201	183,4	0,0011193	183,5	330					0,0015524	364,1
190	0,0011345	193,7	0,0011336	193,8	0,0011328	193,9	$p=150,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$						
200	0,0011491	204,3	0,0011482	204,4	0,0011472	204,5	0	0,0009930	3,6	0,0009925	3,8	0,0009920	4,0
210	0,0011649	215,0	0,0011638	215,1	0,0011628	215,2	10	0,0009934	13,4	0,0009930	13,6	0,0009925	13,9
220	0,0011819	225,8	0,0011807	225,9	0,0011796	226,0	20	0,0009952	23,3	0,0009947	23,5	0,0009943	23,7
230	0,0012004	236,8	0,0011991	236,9	0,0011978	236,9	30	0,0009979	33,2	0,0009974	33,4	0,0009970	33,6
240	0,0012205	248,0	0,0012190	248,0	0,0012176	248,0	40	0,0010014	43,1	0,0010010	43,3	0,0010006	43,5
250	0,0012426	259,4	0,0012409	259,4	0,0012393	259,4	50	0,0010057	53,0	0,0010052	53,2	0,0010048	53,4
260	0,0012671	271,0	0,0012651	270,9	0,0012632	270,9	60	0,0010106	62,9	0,0010102	63,1	0,0010097	63,3
270	0,0012944	282,9	0,0012921	282,8	0,0012899	282,7	70	0,0010161	72,8	0,0010157	73,0	0,0010153	73,2
280	0,0013254	295,2	0,0013226	295,0	0,0013199	294,9	80	0,0010223	82,8	0,0010218	83,0	0,0010214	83,1
290	0,0013610	307,9	0,0013576	307,7	0,0013543	307,5	90	0,0010290	92,7	0,0010285	92,9	0,0010281	93,1
300	0,0014030	321,3	0,0013987	321,0	0,0013945	320,7	100	0,0010363	102,7	0,0010358	102,9	0,0010353	103,1
310					0,0014428	334,7	110	0,0010441	112,7	0,0010436	112,9	0,0010431	113,1
$p=120,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$							$p=130,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$						
0	0,0009944	2,8	0,0009939	3,1	0,0009934	3,3	120	0,0010525	122,8	0,0010520	122,9	0,0010514	123,1
10	0,0009948	12,8	0,0009943	13,0	0,0009939	13,2	130	0,0010615	132,8	0,0010609	133,0	0,0010603	133,2
20	0,0009964	22,7	0,0009966	22,9	0,0009956	23,1	140	0,0010710	143,0	0,0010704	143,1	0,0010699	143,3
30	0,0009991	32,6	0,0009987	32,8	0,0009983	33,0	150	0,0010812	153,1	0,0010806	153,3	0,0010800	153,4
40	0,0010027	42,5	0,0010022	42,7	0,0010018	42,9	160	0,0010921	163,3	0,0010915	163,5	0,0010908	163,6
$p=140,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$							$p=160,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$						
							170	0,0011037	173,6	0,0011030	173,8	0,0011023	173,9
							180	0,0011161	184,0	0,0011154	184,1	0,0011146	184,2
							190	0,0011294	194,4	0,0011285	194,5	0,0011277	194,6

Продолжение табл. XXIV

$t, ^\circ\text{C}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$	$t, ^\circ\text{C}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$
	$p=150,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$		$p=160,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$		$p=170,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$			$p=180,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$		$p=190,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$		$p=200,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$	
200	0,0011435	204,9	0,0011426	205,0	0,0011417	205,1	100	0,0010348	103,2	0,0010343	103,4	0,0010339	103,6
210	0,0011587	215,6	0,0011577	215,6	0,0011567	215,7	110	0,0010426	113,2	0,0010421	113,4	0,0010416	113,6
220	0,0011751	226,3	0,0011740	226,4	0,0011729	226,5	120	0,0010509	123,3	0,0010504	123,4	0,0010498	123,6
230	0,0011928	237,2	0,0011915	237,2	0,0011903	237,3	130	0,0010598	133,3	0,0010592	133,5	0,0010587	133,6
240	0,0012119	248,2	0,0012106	248,3	0,0012092	248,3	140	0,0010693	143,4	0,0010687	143,6	0,0010681	143,7
250	0,0012329	259,4	0,0012313	259,4	0,0012298	259,5	150	0,0010794	153,6	0,0010788	153,7	0,0010781	153,9
260	0,0012559	270,9	0,0012541	270,8	0,0012523	270,8	160	0,0010901	163,8	0,0010895	163,9	0,0010888	164,0
270	0,0012813	282,6	0,0012792	282,5	0,0012772	282,5	170	0,0011016	174,0	0,0011009	174,2	0,0011002	174,3
280	0,0013097	294,5	0,0013073	294,5	0,0013049	294,4	180	0,0011138	184,4	0,0011131	184,5	0,0011123	184,6
290	0,0013419	306,9	0,0013390	306,8	0,0013361	306,7	190	0,0011269	194,8	0,0011260	194,9	0,0011252	195,0
300	0,0013790	319,8	0,0013754	319,6	0,0013718	319,4	200	0,0011408	205,2	0,0011399	205,4	0,0011390	205,5
310	0,0014226	333,3	0,0014180	333,0	0,0014135	332,7	210	0,0011558	215,8	0,0011548	215,9	0,0011538	216,0
320	0,0014755	347,7	0,0014693	347,2	0,0014634	346,8	220	0,0011718	226,5	0,0011707	226,6	0,0011697	226,7
330	0,0015429	363,4	0,0015339	362,6	0,0015256	362,0	230	0,0011891	237,4	0,0011879	237,4	0,0011868	237,5
340	0,0016370	381,3	0,0016219	380,0	0,0016084	379,0	240	0,0012079	248,4	0,0012066	248,4	0,0012052	284,4
350					0,0017337	399,3	250	0,0012283	259,5	0,0012268	259,5	0,0012253	259,6
	$p=180,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$		$p=190,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$		$p=200,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$		260	0,0012506	270,8	0,0012489	270,8	0,0012472	270,9
0	0,0009916	4,2	0,0009911	4,5	0,0009906	4,7	270	0,0012752	282,4	0,0012732	282,4	0,0012713	282,4
10	0,0009921	14,1	0,0009916	14,3	0,0009912	14,6	280	0,0013026	294,3	0,0013003	294,2	0,0012980	294,2
20	0,0009939	24,0	0,0009934	24,2	0,0009930	24,4	290	0,0013333	306,5	0,0013306	306,4	0,0013279	306,3
30	0,0009966	33,8	0,0009962	34,0	0,0009958	34,2	300	0,0013684	319,2	0,0013651	319,0	0,0013618	318,8
40	0,0010002	43,7	0,0009997	43,9	0,0009993	44,1	310	0,0014092	332,4	0,0014050	332,1	0,0014010	331,9
50	0,0010044	53,6	0,0010040	53,8	0,0010036	54,0	320	0,0014577	346,4	0,0014523	346,0	0,0014471	345,6
60	0,0010093	63,5	0,0010089	63,7	0,0010085	63,9	330	0,0015176	361,4	0,0015102	360,8	0,0015030	360,2
70	0,0010148	73,4	0,0010144	73,6	0,0010140	73,8	340	0,0015961	378,0	0,0015848	377,1	0,0015743	376,2
80	0,0010209	83,3	0,0010205	83,5	0,0010200	83,7	350	0,001711	397,3	0,001690	395,7	0,001672	394,2
90	0,0010276	93,3	0,0010271	93,5	0,0010267	93,6	360			0,0018960	421,3	0,0018340	417,3

Продолжение табл. XXIV

$t, ^\circ\text{C}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$	$t, ^\circ\text{C}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$	$t, ^\circ\text{C}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$	$t, ^\circ\text{C}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$
	$p=210,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$			$p=210,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$			$p=220,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$			$p=220,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$	
0	0,0009901	4,9	150	0,0010775	154,0	0	0,0009897	5,2	150	0,0010769	154,2
10	0,0009908	14,8	160	0,0010882	164,2	10	0,0009903	15,0	160	0,0010875	164,3
20	0,0009926	24,6	170	0,0010995	174,4	20	0,0009922	24,8	170	0,0010988	174,6
30	0,0009954	34,5	180	0,0011116	184,7	30	0,0009950	34,7	180	0,0011108	184,9
40	0,0009989	44,3	190	0,0011244	195,1	40	0,0009985	44,5	190	0,0011236	195,2
50	0,0010032	54,2	200	0,0011382	205,6	50	0,0010028	54,4	200	0,0011373	205,7
60	0,0010081	64,1	210	0,0011529	216,1	60	0,0010076	64,3	210	0,0011519	216,2
70	0,0010136	74,0	220	0,0011686	226,8	70	0,0010131	74,2	220	0,0011676	226,9
80	0,0010196	83,9	230	0,0011856	237,6	80	0,0010192	84,1	230	0,0011844	237,6
90	0,0010262	93,8	240	0,001204	248,5	90	0,0010258	94,0	240	0,0012027	248,6
100	0,0010334	103,8	250	0,0012236	259,6	100	0,0010329	104,0	250	0,0012224	259,6
110	0,0010411	113,8	260	0,0012456	270,9	110	0,0010406	113,9	260	0,0012439	270,9
120	0,0010493	123,8	270	0,0012694	282,4	120	0,0010488	123,9	270	0,0012675	282,3
130	0,0010581	133,8				130	0,0010576	134,0			
140	0,0010675	143,9				140	0,0010670	144,0			

Удельные объемы и энтальпии перегретого пара при докритическом давлении

Таблица XXV

$t, ^\circ\text{C}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал/кг}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал/кг}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал/кг}$	$t, ^\circ\text{C}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал/кг}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал/кг}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал/кг}$		
$p=1,0 \text{ кгс/см}^2$			$p=1,5 \text{ кгс/см}^2$			$p=2,0 \text{ кгс/см}^2$			$p=2,5 \text{ кгс/см}^2$			$p=3,0 \text{ кгс/см}^2$		$p=4,0 \text{ кгс/см}^2$	
100	1,730	639,3					230	0,9377	699,6	0,7799	699,1	0,5825	698,2		
110	1,780	644,2					240	0,9571	704,4	0,7961	704,0	0,5948	703,1		
120	1,829	648,9	1,212	647,8	0,9032	646,5	250	0,9764	709,2	0,8123	708,8	0,6071	708,0		
130	1,878	653,7	1,245	652,6	0,9288	651,6	260	0,9957	714,0	0,8284	713,7	0,6193	712,9		
140	1,927	658,4	1,278	657,5	0,9541	656,5	270	1,015	718,9	0,8445	718,5	0,6315	717,8		
150	1,975	663,2	1,311	662,3	0,9791	661,4	280	1,034	723,7	0,8606	723,4	0,6437	722,7		
160	2,023	667,9	1,344	667,1	1,004	666,3	290	1,053	728,5	0,8767	728,2	0,6558	727,6		
170	2,072	672,6	1,376	671,9	1,029	671,2	300	1,072	733,4	0,8927	733,1	0,6679	732,5		
180	2,120	677,3	1,409	676,7	1,053	676,0	310	1,092	738,2	0,9087	738,0	0,6800	737,4		
190	2,168	682,0	1,441	681,4	1,078	680,8	320	1,111	743,1	0,9246	742,8	0,6920	742,3		
200	2,215	686,7	1,473	686,2	1,102	685,6	330	1,130	748,0	0,9406	747,7	0,7041	747,2		
210	2,263	691,5	1,505	691,0	1,126	690,4	340	1,149	752,8	0,9566	752,6	0,7161	752,1		
220	2,311	696,1	1,537	695,7	1,150	695,2	350	1,168	757,7	0,9725	757,5	0,7281	757,1		
230	2,358	700,9	1,569	700,5	1,175	700,0	360	1,187	762,6	0,9884	762,4	0,7401	762,0		
240	2,406	705,6	1,601	705,2	1,199	704,8	370	1,206	767,6	1,0043	767,4	0,7520	767,0		
250	2,454	710,4	1,633	710,0	1,223	709,6	380	1,225	772,5	1,0202	772,3	0,7640	771,9		
260	2,501	715,1	1,665	714,8	1,247	714,4	390	1,244	777,4	1,0360	777,3	0,7760	776,9		
270	2,549	720,0	1,697	719,6	1,270	719,2	400	1,263	782,4	1,0519	782,2	0,7879	781,9		
280	2,596	724,7	1,728	724,4	1,294	724,0	410	1,282	787,4	1,068	787,2	0,7998	786,8		
290	2,643	729,4	1,760	729,2	1,318	728,8	420	1,301	792,4	1,084	792,2	0,8117	791,8		
300	2,691	734,2	1,792	734,0	1,342	733,7	430	1,320	797,3	1,099	797,2	0,8237	796,9		
310	2,738	739,1	1,823	738,8	1,366	738,5	440	1,339	802,4	1,115	802,2	0,8356	801,9		
320	2,786	743,9	1,855	743,6	1,390	743,4	450	1,358	807,4	1,131	807,2	0,8475	806,9		
330	2,833	748,7	1,887	748,5	1,414	748,2	$p=5,0 \text{ кгс/см}^2$			$p=6,0 \text{ кгс/см}^2$		$p=7,0 \text{ кгс/см}^2$			
340	2,880	753,6	1,918	753,3	1,437	753,1	160	0,3915	661,1	0,3232	659,2				
350	2,928	758,4	1,950	758,2	1,461	758,0	170	0,4023	666,5	0,3325	664,8	0,2826	663,1		
360	2,975	763,3	1,982	763,1	1,485	762,9	180	0,4129	671,8	0,3416	670,3	0,2906	668,7		
370	3,022	768,2	2,013	768,0	1,509	767,8	190	0,4233	677,0	0,3505	675,6	0,2984	674,2		
380	3,069	773,1	2,045	772,9	1,532	772,7	200	0,4336	682,1	0,3593	680,9	0,3061	679,6		
390	3,117	778,0	2,076	777,8	1,556	777,6	210	0,4438	687,2	0,3679	686,1	0,3137	685,0		
400	3,164	782,9	2,108	782,8	1,580	782,6	220	0,4540	692,3	0,3765	691,2	0,3212	690,2		
410	3,211	787,9	2,139	787,7	1,604	787,5	230	0,4640	697,3	0,3850	696,3	0,3286	695,4		
420	3,258	792,8	2,171	792,7	1,627	792,5	240	0,4740	702,3	0,3934	701,4	0,3359	700,5		
430	3,306	797,8	2,202	797,7	1,651	797,5	250	0,4839	707,2	0,4018	706,4	0,3432	705,6		
440	3,353	802,8	2,234	802,7	1,675	802,5	260	0,4938	712,2	0,4101	711,4	0,3504	710,7		
450	3,400	807,8	2,265	807,7	1,698	807,5	270	0,5037	717,1	0,4184	716,4	0,3575	715,7		
$p=2,5 \text{ кгс/см}^2$			$p=3,0 \text{ кгс/см}^2$			$p=4,0 \text{ кгс/см}^2$			280	0,5135	722,1	0,4267	721,4	0,3647	720,7
130	0,7388	650,4					290	0,5232	727,0	0,4349	726,4	0,3718	725,7		
140	0,7594	655,5	0,6295	654,5			300	0,5330	731,9	0,4431	731,3	0,3788	730,7		
150	0,7798	660,5	0,6468	659,6	0,4805	657,7	310	0,5427	736,8	0,4512	736,3	0,3859	735,7		
160	0,8000	665,5	0,6639	664,7	0,4938	663,0	320	0,5524	741,8	0,4594	741,3	0,3929	740,7		
170	0,8200	670,4	0,6808	669,7	0,5068	668,1	330	0,5621	746,7	0,4675	746,2	0,3999	745,7		
180	0,8398	675,3	0,6976	674,7	0,5197	673,3	340	0,5718	751,7	0,4756	751,2	0,4069	750,7		
190	0,8596	680,2	0,7142	679,6	0,5324	678,3	350	0,5814	756,6	0,4837	756,2	0,4138	755,7		
200	0,8793	685,1	0,7307	684,5	0,5451	683,3	360	0,5911	761,6	0,4918	761,1	0,4208	760,7		
210	0,8988	689,9	0,7472	689,4	0,5576	688,3	370	0,6007	766,5	0,4998	766,1	0,4277	765,7		
220	0,9183	694,8	0,7636	694,3	0,5701	693,3	380	0,6103	771,5	0,5078	771,1	0,4347	770,7		
							390	0,6199	776,5	0,5159	776,1	0,4416	775,7		
							400	0,6295	781,5	0,5239	781,1	0,4485	780,8		

Продолжение табл. XXV

Продолжение табл. XXV													
$t, ^\circ\text{C}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$	$t, ^\circ\text{C}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$
	$p=5,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$		$p=6,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$		$p=7,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$			$p=8,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$		$p=9,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$		$p=10,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$	
410	0,6391	786,5	0,5319	786,2	0,4554	785,8	470	0,4341	815,9	0,3855	815,7	0,3466	815,4
420	0,6486	791,5	0,5399	791,2	0,4622	790,8	480	0,4401	821,1	0,3908	820,8	0,3514	820,5
430	0,6582	796,5	0,5479	796,2	0,4691	795,9	490	0,4461	826,2	0,3962	825,9	0,3563	825,7
440	0,6678	801,6	0,5559	801,3	0,4760	801,0	500	0,4520	831,3	0,4015	831,1	0,3611	830,8
450	0,6773	806,6	0,5638	806,3	0,4828	806,0	510	0,4580	836,5	0,4068	836,2	0,3659	836,0
460	0,6868	811,7	0,5718	811,4	0,4897	811,1	520	0,4640	841,7	0,4122	841,4	0,3707	841,2
470	0,6964	816,8	0,5798	816,5	0,4965	816,2	530	0,4700	846,8	0,4175	846,6	0,3755	846,4
480	0,7059	821,9	0,5878	821,6	0,5034	821,3	540	0,4760	852,0	0,4228	851,8	0,3803	851,6
490	0,7154	827,0	0,5957	826,7	0,5102	826,4	550	0,4819	857,3	0,4281	857,0	0,3851	856,8
500	0,7249	832,1	0,6036	831,8	0,5170	831,6	560	0,4879	862,5	0,4334	862,3	0,3898	862,1
510	0,7344	837,2	0,6116	837,0	0,5238	836,7	570	0,4938	867,7	0,4387	867,5	0,3946	867,3
520	0,7440	842,4	0,6195	842,1	0,5307	841,9	580	0,4998	873,0	0,4440	872,8	0,3994	872,6
530	0,7535	847,5	0,6275	847,3	0,5375	847,1	590	0,5057	878,2	0,4493	878,0	0,4042	877,9
540	0,7630	852,7	0,6354	852,5	0,5443	852,3	600	0,5117	883,5	0,4546	883,3	0,4090	883,2
550	0,7725	857,9	0,6433	857,7	0,5511	857,5	610	0,5176	888,8	0,4599	888,6	0,4137	888,5
560					0,5579	862,7	620	0,5236	894,1	0,4652	893,9	0,4185	893,8
570					0,5647	867,9	630	0,5295	899,4	0,4705	899,6	0,4233	899,1
580					0,5715	873,2	640	0,5355	904,8	0,4758	904,6	0,4280	904,4
590					0,5783	878,4	650	0,5414	910,1	0,4811	910,0	0,4328	909,8
600					0,5851	883,7							
610					0,5919	889,0		$p=11,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$		$p=12,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$		$p=13,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$	
620					0,5986	894,3	190	0,1845	668,2	0,1678	666,5		
630					0,6054	899,6	200	0,1899	674,2	0,1729	672,8	0,1584	671,2
640					0,6122	905,0	210	0,1951	680,0	0,1778	678,8	0,1631	677,4
650					0,6190	910,3	220	0,2002	685,7	0,1826	684,6	0,1676	683,4
	$p=8,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$		$p=9,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$		$p=10,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$		230	0,2053	691,3	0,1872	690,2	0,1720	689,2
170	0,2451	661,2					240	0,2102	696,8	0,1918	695,8	0,1763	694,8
180	0,2523	667,1	0,2225	665,4	0,1985	663,7	250	0,2151	702,2	0,1964	701,3	0,1805	700,4
190	0,2593	672,8	0,2289	671,3	0,2045	669,8	260	0,2199	707,5	0,2008	706,7	0,1847	705,8
200	0,2662	678,3	0,2352	677,0	0,2103	675,6	270	0,2246	712,7	0,2052	712,0	0,1888	711,2
210	0,2730	683,8	0,2413	682,6	0,2159	681,3	280	0,2293	718,0	0,2096	717,3	0,1929	716,5
220	0,2796	689,1	0,2473	688,0	0,2214	686,9	290	0,2340	723,2	0,2139	722,5	0,1969	721,8
230	0,2862	694,4	0,2532	693,4	0,2269	692,4	300	0,2386	728,3	0,2182	727,7	0,2009	727,1
240	0,2927	699,6	0,2591	698,7	0,2322	697,7	310	0,2432	733,4	0,2224	732,8	0,2048	732,3
250	0,2991	704,8	0,2649	703,9	0,2375	703,0	320	0,2478	738,5	0,2267	738,0	0,2088	737,4
260	0,3055	709,9	0,2706	709,1	0,2427	708,3	330	0,2524	743,6	0,2309	743,1	0,2127	742,6
270	0,3119	715,0	0,2763	714,2	0,2479	713,5	340	0,2569	748,7	0,2351	748,2	0,2166	747,7
280	0,3182	720,0	0,2820	719,4	0,2530	718,7	350	0,2615	753,8	0,2392	753,4	0,2204	752,9
290	0,3244	725,1	0,2876	724,5	0,2581	723,8	360	0,2660	758,9	0,2434	758,5	0,2243	758,0
300	0,3307	730,1	0,2932	729,5	0,2632	728,9	370	0,2705	764,0	0,2475	763,6	0,2281	763,2
310	0,3369	735,2	0,2987	734,6	0,2682	734,0	380	0,2750	769,1	0,2517	768,7	0,2320	768,3
320	0,3430	740,2	0,3043	739,6	0,2732	739,1	390	0,2794	774,2	0,2558	773,8	0,2358	773,4
330	0,3492	745,2	0,3098	744,7	0,2782	744,2	400	0,2839	779,3	0,2599	778,9	0,2396	778,6
340	0,3553	750,2	0,3153	749,7	0,2832	749,2	410	0,2883	784,4	0,2640	784,0	0,2433	783,7
350	0,3615	755,2	0,3207	754,8	0,2881	754,3	420	0,2928	789,5	0,2680	789,2	0,2471	788,8
360	0,3676	760,2	0,3262	759,8	0,2931	759,4	430	0,2972	794,6	0,2721	794,3	0,2509	793,9
370	0,3737	765,3	0,3316	764,9	0,2980	764,4	440	0,3016	799,7	0,2762	799,4	0,2547	799,1
380	0,3798	770,3	0,3371	769,9	0,3029	769,5	450	0,3060	804,8	0,2802	804,5	0,2584	804,2
390	0,3858	775,4	0,3425	775,0	0,3078	774,6	460	0,3104	810,0	0,2843	809,7	0,2622	809,4
400	0,3919	780,4	0,3479	780,0	0,3127	779,7	470	0,3148	815,1	0,2883	814,8	0,2659	814,5
410	0,3979	785,4	0,3533	785,1	0,3176	784,8	480	0,3192	820,2	0,2924	820,0	0,2696	819,7
420	0,4040	790,5	0,3587	790,2	0,3224	789,8	490	0,3236	825,4	0,2964	825,1	0,2734	824,9
430	0,4100	795,6	0,3640	795,2	0,3273	794,9	500	0,3280	830,6	0,3004	830,3	0,2771	830,1
440	0,4160	800,6	0,3694	800,3	0,3321	800,0	510	0,3324	835,8	0,3045	835,5	0,2808	835,3
450	0,4220	805,7	0,3748	805,4	0,3370	805,1	520	0,3368	841,0	0,3085	840,7	0,2845	840,5
460	0,4281	810,8	0,3801	810,5	0,3418	810,2	530	0,3411	846,2	0,3125	845,9	0,2883	845,7

Продолжение табл. XXV

$t, ^\circ\text{C}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$	$t, ^\circ\text{C}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$
	$p=11,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$		$p=12,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$		$p=13,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$			$p=14,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$		$p=15,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$		$p=16,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$	
540	0,3455	851,4	0,3165	851,2	0,2920	850,9	630	0,3018	898,4	0,2816	898,2	0,2639	898,1
550	0,3498	856,6	0,3205	856,4	0,2957	856,2	640	0,3053	903,8	0,2848	903,6	0,2669	903,4
560	0,3542	861,8	0,3245	861,6	0,2994	861,4	650	0,3087	909,2	0,2880	909,0	0,2699	908,8
570	0,3586	867,1	0,3285	866,9	0,3031	866,7							
580	0,3629	872,4	0,3325	872,2	0,3068	872,0							
590	0,3673	877,7	0,3365	877,5	0,3104	877,3		$p=17,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$		$p=18,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$		$p=19,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$	
600	0,3716	883,0	0,3405	882,8	0,3141	882,6	210	0,1214	671,7	0,1139	670,2	0,1071	668,6
610	0,3760	888,3	0,3445	888,1	0,3178	887,9	220	0,1252	678,3	0,1175	677,0	0,1106	675,6
620	0,3803	893,6	0,3485	893,4	0,3215	893,2	230	0,1288	684,6	0,1210	683,4	0,1140	682,2
630	0,3846	898,9	0,3524	898,8	0,3252	898,6	240	0,1323	690,7	0,1244	689,6	0,1172	688,5
640	0,3890	904,3	0,3564	904,1	0,3289	904,0	250	0,1358	696,6	0,1276	695,6	0,1204	694,6
650	0,3933	909,7	0,3604	909,5	0,3326	909,3	260	0,1391	702,4	0,1308	701,5	0,1235	700,6
	$p=14,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$		$p=15,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$		$p=16,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$		270	0,1424	708,0	0,1340	707,2	0,1265	706,4
200	0,1461	669,7	0,1353	668,1			280	0,1456	713,6	0,1371	712,8	0,1294	712,1
210	0,1505	676,0	0,1395	674,6	0,1299	673,2	290	0,1488	719,1	0,1401	718,4	0,1323	717,7
220	0,1548	682,2	0,1436	680,9	0,1338	679,6	300	0,1520	724,5	0,1431	723,8	0,1352	723,2
230	0,1589	688,1	0,1476	686,9	0,1376	685,8	310	0,1551	729,9	0,1461	729,2	0,1381	728,6
240	0,1630	693,8	0,1514	692,8	0,1413	691,8	320	0,1582	735,2	0,1490	734,6	0,1409	734,0
250	0,1669	699,4	0,1552	698,5	0,1449	697,6	330	0,1612	740,5	0,1519	739,9	0,1436	739,4
260	0,1709	705,0	0,1589	704,1	0,1484	703,3	340	0,1643	745,7	0,1548	745,2	0,1464	744,7
270	0,1747	710,4	0,1625	709,6	0,1518	708,8	350	0,1673	751,0	0,1577	750,5	0,1491	750,0
280	0,1785	715,8	0,1661	715,1	0,1552	714,3	360	0,1703	756,2	0,1606	755,7	0,1518	755,3
290	0,1823	721,1	0,1697	720,5	0,1586	719,8	370	0,1733	761,4	0,1634	761,0	0,1546	760,6
300	0,1860	726,4	0,1732	725,8	0,1619	725,1	380	0,1763	766,7	0,1662	766,3	0,1572	765,8
310	0,1897	731,7	0,1766	731,1	0,1652	730,5	390	0,1792	771,9	0,1690	771,5	0,1599	771,1
320	0,1934	736,9	0,1801	736,3	0,1685	735,8	400	0,1822	777,1	0,1718	776,7	0,1626	776,3
330	0,1971	742,1	0,1835	741,5	0,1717	741,0	410	0,1851	782,3	0,1746	781,9	0,1652	781,5
340	0,2007	747,2	0,1869	746,7	0,1749	746,2	420	0,1881	787,4	0,1774	787,1	0,1679	786,8
350	0,2043	752,4	0,1903	751,9	0,1781	751,4	430	0,1910	792,6	0,1802	792,3	0,1705	792,0
360	0,2079	757,6	0,1937	757,1	0,1813	756,7	440	0,1939	797,8	0,1829	797,5	0,1731	797,2
370	0,2115	762,7	0,1971	762,3	0,1844	761,9	450	0,1968	803,0	0,1857	802,7	0,1757	802,4
380	0,2150	767,9	0,2004	767,6	0,1876	767,1	460	0,1997	808,2	0,1884	807,9	0,1784	807,6
390	0,2186	773,1	0,2037	772,7	0,1907	772,3	470	0,2026	813,4	0,1912	813,1	0,1809	812,8
400	0,2221	778,2	0,2071	777,8	0,1938	777,4	480	0,2055	818,6	0,1939	818,3	0,1835	818,1
410	0,2257	783,3	0,2104	783,0	0,1970	782,6	490	0,2084	823,8	0,1966	823,6	0,1861	823,3
420	0,2292	788,5	0,2137	788,1	0,2001	787,8	500	0,2112	829,0	0,1994	828,8	0,1887	828,5
430	0,2327	793,6	0,2170	793,3	0,2032	793,0	510	0,2141	834,3	0,2021	834,0	0,1913	833,8
440	0,2362	798,8	0,2202	798,4	0,2062	798,1	520	0,2170	839,5	0,2048	839,3	0,1939	839,0
450	0,2397	803,9	0,2235	803,6	0,2093	803,3	530	0,2198	844,8	0,2075	844,5	0,1964	844,3
460	0,2432	809,1	0,2268	808,8	0,2124	808,5	540	0,2227	850,0	0,2102	849,8	0,1990	849,6
470	0,2467	814,2	0,2300	814,0	0,2155	813,7	550	0,2255	855,3	0,2129	855,1	0,2016	854,9
480	0,2502	819,4	0,2333	819,2	0,2185	818,9	560	0,2284	860,6	0,2156	860,4	0,2041	860,2
490	0,2536	824,6	0,2365	824,4	0,2216	824,1	570	0,2312	865,9	0,2183	865,7	0,2067	865,5
500	0,2571	829,8	0,2398	829,6	0,2246	829,3	580	0,2341	871,2	0,2210	871,0	0,2092	870,8
510	0,2606	835,0	0,2430	834,8	0,2277	834,5	590	0,2369	876,5	0,2236	876,3	0,2118	876,1
520	0,2640	840,2	0,2463	840,0	0,2307	839,8	600	0,2398	881,8	0,2263	881,7	0,2143	881,5
530	0,2675	845,5	0,2495	845,2	0,2337	845,0	610	0,2426	887,2	0,2290	887,0	0,2169	886,8
540	0,2709	850,7	0,2527	850,5	0,2368	850,3	620	0,2454	892,5	0,2317	892,4	0,2194	892,2
550	0,2744	856,0	0,2559	855,7	0,2398	855,5	630	0,2483	897,9	0,2344	897,7	0,2219	897,6
560	0,2778	861,2	0,2591	861,0	0,2428	860,8	640	0,2511	903,3	0,2370	903,1	0,2245	903,0
570	0,2813	866,5	0,2624	866,3	0,2458	866,1	650	0,2539	908,7	0,2397	908,5	0,2270	908,4
580	0,2847	871,8	0,2656	871,6	0,2488	871,4							
590	0,2881	877,1	0,2688	876,9	0,2519	876,7		$p=20,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$		$p=21,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$		$p=22,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$	
600	0,2916	882,4	0,2720	882,2	0,2549	882,0	220	0,1044	674,2	0,09875	672,8	0,09361	671,3
610	0,2950	887,7	0,2752	887,6	0,2579	887,4	230	0,1077	681,0	0,10194	679,7	0,09672	678,4
620	0,2984	893,1	0,2784	892,9	0,2609	892,7	240	0,1108	687,4	0,10500	686,3	0,09970	685,1
							250	0,1139	693,6	0,1079	692,6	0,1026	691,6
							260	0,1168	699,7	0,1108	698,8	0,1053	697,8

$t, ^\circ\text{C}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$	$t, ^\circ\text{C}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$
$p=20,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$							$p=23,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$						
270	0,1197	705,6	0,1136	704,7	0,1080	703,9	370	0,1268	758,8	0,1213	758,4	0,1163	757,9
280	0,1226	711,3	0,1163	710,5	0,1107	709,8	380	0,1291	764,2	0,1235	763,7	0,1184	763,3
290	0,1254	717,0	0,1190	716,2	0,1133	715,5	390	0,1313	769,5	0,1257	769,1	0,1205	768,7
300	0,1281	722,5	0,1217	721,9	0,1158	721,2	400	0,1336	774,8	0,1278	774,4	0,1225	774,0
310	0,1308	728,0	0,1243	727,4	0,1183	726,8	410	0,1358	780,1	0,1299	779,7	0,1246	779,3
320	0,1335	733,4	0,1268	732,9	0,1208	732,3	420	0,1380	785,4	0,1321	785,0	0,1266	784,6
330	0,1362	738,8	0,1294	738,3	0,1232	737,7	430	0,1402	790,6	0,1342	790,3	0,1287	790,0
340	0,1388	744,2	0,1319	743,7	0,1256	743,1	440	0,1424	795,9	0,1363	795,6	0,1307	795,2
350	0,1414	749,5	0,1344	749,0	0,1280	748,5	450	0,1446	801,2	0,1384	800,8	0,1327	800,5
360	0,1440	754,8	0,1369	754,4	0,1304	753,9	460	0,1468	806,4	0,1405	806,1	0,1347	805,8
370	0,1466	760,1	0,1394	759,7	0,1328	759,2	470	0,1489	811,7	0,1426	811,4	0,1368	811,1
380	0,1491	765,4	0,1418	765,0	0,1352	764,6	480	0,1511	817,0	0,1447	816,7	0,1388	816,4
390	0,1517	770,7	0,1443	770,3	0,1375	769,9	490	0,1532	822,2	0,1467	822,0	0,1408	821,7
400	0,1542	775,9	0,1467	775,6	0,1398	775,2	500	0,1554	827,5	0,1488	827,2	0,1427	827,0
410	0,1568	781,2	0,1491	780,8	0,1421	780,4	510	0,1576	832,8	0,1509	832,5	0,1447	832,3
420	0,1593	786,4	0,1515	786,1	0,1444	785,7	520	0,1597	838,1	0,1529	837,8	0,1467	837,6
430	0,1618	791,6	0,1539	791,3	0,1467	791,0	530	0,1618	843,4	0,1550	843,2	0,1487	842,9
440	0,1643	796,8	0,1563	796,5	0,1490	796,2	540	0,1640	848,7	0,1570	848,5	0,1507	848,2
450	0,1668	802,1	0,1587	801,8	0,1513	801,5	550	0,1661	854,0	0,1591	853,8	0,1526	853,6
460	0,1692	807,3	0,1610	807,0	0,1536	806,7	560	0,1682	859,3	0,1611	859,2	0,1546	858,9
470	0,1717	812,5	0,1634	812,3	0,1558	812,0	570	0,1704	864,7	0,1632	864,5	0,1565	864,3
480	0,1742	817,8	0,1658	817,5	0,1581	817,2	580	0,1725	870,0	0,1652	869,8	0,1585	869,6
490	0,1767	823,0	0,1681	822,8	0,1603	822,5	590	0,1746	875,4	0,1672	875,2	0,1605	875,0
500	0,1791	828,3	0,1705	828,0	0,1626	827,8	600	0,1767	880,7	0,1693	880,5	0,1624	880,4
510	0,1816	833,5	0,1728	833,3	0,1648	833,0	610	0,1788	886,1	0,1713	885,9	0,1644	885,7
520	0,1840	838,8	0,1752	838,6	0,1671	838,3	620	0,1809	891,5	0,1733	891,3	0,1663	891,1
530	0,1865	844,1	0,1775	843,8	0,1693	843,6	630	0,1830	896,9	0,1753	896,7	0,1683	896,5
540	0,1889	849,4	0,1798	849,1	0,1715	848,9	640	0,1852	902,3	0,1774	902,1	0,1702	901,9
550	0,1914	854,7	0,1821	854,4	0,1738	854,2	650	0,1873	907,7	0,1794	907,5	0,1721	907,4
560	0,1938	860,0	0,1845	859,8	0,1760	859,5							
570	0,1962	865,3	0,1868	865,1	0,1782	864,9							
580	0,1987	870,6	0,1891	870,4	0,1804	870,2							
590	0,2011	875,9	0,1914	875,8	0,1826	875,6							
600	0,2035	881,3	0,1937	881,1	0,1848	880,9	230	0,07978	672,9	0,07630	671,5	0,07306	670,0
610	0,2059	886,6	0,1960	886,5	0,1870	886,3	240	0,08250	680,3	0,07898	679,0	0,07570	677,7
620	0,2083	892,0	0,1983	891,8	0,1892	891,7	250	0,08510	687,3	0,08153	686,1	0,07820	685,0
630	0,2108	897,4	0,2006	897,2	0,1914	897,0	260	0,08759	693,9	0,08396	692,9	0,08059	691,9
640	0,2132	902,8	0,2029	902,6	0,1936	902,4	270	0,08999	700,3	0,08631	699,4	0,08288	698,5
650	0,2156	908,2	0,2052	908,0	0,1958	907,9	280	0,09233	706,5	0,08858	705,7	0,08511	704,8
							290	0,09461	712,5	0,09080	711,8	0,08727	711,0
							300	0,09684	718,4	0,09297	717,7	0,08938	717,0
							310	0,09903	724,2	0,09510	723,5	0,09145	722,9
							320	0,1012	729,9	0,09720	729,3	0,09349	728,6
							330	0,1033	735,5	0,09926	734,9	0,09550	734,3
							340	0,1054	741,0	0,1013	740,5	0,09747	739,9
							350	0,1075	746,5	0,1033	746,0	0,09943	745,5
							360	0,1096	752,0	0,1053	751,5	0,1014	751,1
							370	0,1116	757,5	0,1073	757,0	0,1033	756,6
							380	0,1136	762,9	0,1092	762,5	0,1052	762,0
							390	0,1156	768,3	0,1112	767,9	0,1071	767,5
							400	0,1176	773,6	0,1131	773,2	0,1089	772,9
							410	0,1196	779,0	0,1150	778,6	0,1108	778,2
							420	0,1216	784,3	0,1170	783,9	0,1126	783,6
							430	0,1236	789,6	0,1189	789,3	0,1145	788,9
							440	0,1255	794,9	0,1208	794,6	0,1163	794,3
							450	0,1275	800,2	0,1226	799,9	0,1181	799,6
							460	0,1294	805,5	0,1245	805,2	0,1199	804,9
							470	0,1314	810,8	0,1264	810,5	0,1217	810,2
$p=23,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$							$p=27,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$						
220	0,08890	669,8											
230	0,09195	677,1	0,08756	675,7	0,08352	674,3							
240	0,09485	684,0	0,09040	682,8	0,08630	681,5							
250	0,09763	690,5	0,09311	689,5	0,08895	688,4							
260	0,1003	696,9	0,09573	695,9	0,09150	694,9							
270	0,1029	703,0	0,09826	702,1	0,09396	701,2							
280	0,1055	709,0	0,1007	708,1	0,09637	707,3							
290	0,1080	714,8	0,1032	714,0	0,09871	713,3							
300	0,1104	720,5	0,1055	719,8	0,1010	719,1							
310	0,1129	726,1	0,1079	725,5	0,1033	724,8							
320	0,1152	731,7	0,1102	731,1	0,1055	730,5							
330	0,1176	737,2	0,1124	736,6	0,1077	736,0							
340	0,1199	742,6	0,1147	742,1	0,1099	741,5							
350	0,1222	748,0	0,1169	747,5	0,1120	747,0							
360	0,1245	753,4	0,1191	753,0	0,1142	752,5							
$p=24,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$							$p=28,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$						

Продолжение табл. XXV

$t, ^\circ\text{C}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$	$t, ^\circ\text{C}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$
	$p=26,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$		$p=27,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$		$p=28,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$			$p=29,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$		$p=30,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$		$p=31,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$	
480	0,1333	816,1	0,1282	815,8	0,1235	815,6	610	0,1414	885,0	0,1307	884,8	0,1322	884,6
490	0,1352	821,4	0,1301	821,2	0,1253	820,9	620	0,1431	890,4	0,1328	890,2	0,1338	890,1
500	0,1371	826,7	0,1320	826,5	0,1271	826,2	630	0,1448	895,8	0,1349	895,7	0,1354	895,6
510	0,1390	832,0	0,1338	831,8	0,1289	830,5	640	0,1465	901,3	0,1366	901,1	0,1369	900,9
520	0,1410	837,4	0,1356	837,1	0,1307	836,9	650	0,1482	906,7	0,1388	906,6	0,1385	906,4
530	0,1429	842,7	0,1375	842,4	0,1325	842,2		$p=32,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$		$p=33,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$		$p=34,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$	
540	0,1448	848,0	0,1393	847,8	0,1343	847,6	240	0,06457	672,3	0,06219	670,8	0,05994	669,4
550	0,1467	853,3	0,1411	853,1	0,1360	852,9	250	0,06694	680,2	0,06454	679,0	0,06227	677,7
560	0,1486	858,7	0,1430	858,5	0,1378	858,3	260	0,06917	687,6	0,06674	686,5	0,06444	685,4
570	0,1504	864,0	0,1448	863,8	0,1395	863,6	270	0,07130	694,7	0,06883	693,7	0,06651	692,7
580	0,1523	869,4	0,1466	869,2	0,1413	869,0	280	0,07384	701,4	0,07084	700,5	0,06848	699,6
590	0,1542	874,8	0,1484	874,6	0,1430	874,4	290	0,07532	707,8	0,07278	707,0	0,07039	706,2
600	0,1561	880,2	0,1502	880,0	0,1448	879,8	300	0,07724	714,1	0,07466	713,4	0,07223	712,6
610	0,1580	885,6	0,1520	885,4	0,1466	885,2	310	0,07912	720,2	0,07650	719,5	0,07403	718,8
620	0,1598	891,0	0,1539	890,8	0,1483	890,6	320	0,08096	726,2	0,07830	725,5	0,07579	724,9
630	0,1617	896,4	0,1557	896,2	0,1500	896,0	330	0,08276	732,0	0,08006	731,4	0,07752	730,8
640	0,1636	901,8	0,1575	901,6	0,1518	901,4	340	0,08454	737,7	0,08180	737,2	0,07921	736,6
650	0,1655	907,2	0,1593	907,0	0,1535	906,9	350	0,08629	743,4	0,08350	742,9	0,08088	742,4
	$p=29,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$		$p=30,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$		$p=31,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$		360	0,08802	749,1	0,08519	748,6	0,08253	748,2
240	0,07264	676,4	0,06978	675,1	0,06710	673,7	370	0,08973	754,7	0,08686	754,3	0,08415	753,8
250	0,07511	683,8	0,07221	682,7	0,06949	681,4	380	0,09143	760,3	0,08851	759,9	0,08576	759,4
260	0,07745	690,9	0,07451	689,8	0,07176	688,7	390	0,09310	765,8	0,09014	765,4	0,08735	765,0
270	0,07969	697,6	0,07671	696,8	0,07392	695,6	400	0,09477	771,3	0,09176	770,9	0,08893	770,5
280	0,08187	704,0	0,07884	703,1	0,07600	702,3	410	0,09642	776,7	0,09337	776,4	0,09050	776,0
290	0,08398	710,2	0,08090	709,4	0,07802	708,6	420	0,09806	782,2	0,09497	781,8	0,09206	781,4
300	0,08604	716,3	0,08291	715,6	0,07999	714,8	430	0,09969	787,6	0,09656	787,2	0,09360	786,9
310	0,08805	722,2	0,08488	721,6	0,08191	720,9	440	0,1013	793,0	0,09813	792,6	0,09514	792,3
320	0,09004	728,0	0,08681	727,4	0,08379	726,8	450	0,1029	798,3	0,09970	798,0	0,09667	797,7
330	0,09193	733,8	0,08871	733,2	0,08564	732,6	460	0,1045	803,7	0,1013	803,4	0,09819	803,1
340	0,09391	739,4	0,09058	738,8	0,08746	738,3	470	0,1061	809,1	0,1028	808,8	0,09970	808,5
350	0,09581	745,0	0,09242	744,5	0,08926	744,0	480	0,1077	814,4	0,1044	814,2	0,10121	813,9
360	0,09769	750,6	0,09425	750,1	0,09104	749,6	490	0,1093	819,8	0,1059	819,5	0,10271	819,3
370	0,09954	756,1	0,09606	755,7	0,09279	755,2	500	0,1109	825,2	0,1074	824,9	0,1042	824,6
380	0,1014	761,6	0,09784	761,2	0,09453	760,7	510	0,1125	830,5	0,1090	830,3	0,1057	830,0
390	0,1032	767,1	0,09962	766,6	0,09626	766,2	520	0,1140	835,9	0,1105	835,7	0,1072	835,4
400	0,1050	772,5	0,1014	772,1	0,09797	771,7	530	0,1156	841,3	0,1120	841,0	0,1086	840,8
410	0,1068	777,9	0,1031	777,5	0,09967	777,1	540	0,1172	846,6	0,1135	846,4	0,1101	846,2
420	0,1086	783,2	0,1049	782,9	0,1014	782,5	550	0,1187	852,0	0,1150	851,8	0,1116	851,6
430	0,1104	788,6	0,1066	788,2	0,1030	787,9	560	0,1203	857,4	0,1166	857,2	0,1131	857,0
440	0,1122	793,9	0,1083	793,6	0,1047	793,3	570	0,1218	862,8	0,1181	862,6	0,1145	862,4
450	0,1139	799,3	0,1100	799,0	0,1064	798,6	580	0,1234	868,2	0,1196	868,0	0,1160	867,8
460	0,1157	804,6	0,1117	804,3	0,1080	804,0	590	0,1249	873,6	0,1211	873,4	0,1174	873,2
470	0,1174	810,0	0,1134	809,7	0,1097	809,4	600	0,1265	879,0	0,1226	878,8	0,1189	878,7
480	0,1192	815,3	0,1151	815,0	0,1113	814,7	610	0,1280	884,5	0,1241	884,3	0,1204	884,1
490	0,1209	820,6	0,1168	820,4	0,1129	820,1	620	0,1295	889,9	0,1256	889,7	0,1218	889,5
500	0,1227	826,0	0,1185	825,7	0,1146	825,4	630	0,1311	895,3	0,1270	895,1	0,1233	895,0
510	0,1244	831,3	0,1202	831,0	0,1162	830,8	640	0,1326	900,8	0,1285	900,6	0,1247	900,4
520	0,1261	836,6	0,1218	836,4	0,1178	836,2	650	0,1341	906,2	0,1300	906,1	0,1261	905,9
530	0,1278	842,0	0,1235	841,8	0,1194	841,5		$p=35,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$		$p=36,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$		$p=37,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$	
540	0,1295	847,3	0,1251	847,1	0,1210	846,9	250	0,06012	676,4	0,05809	675,1	0,05616	673,7
550	0,1312	852,7	0,1268	852,5	0,1226	852,2	260	0,06228	684,3	0,06022	683,1	0,05828	681,9
560	0,1330	858,1	0,1284	857,8	0,1242	857,6	270	0,06431	691,7	0,06224	690,6	0,06027	689,6
570	0,1347	863,4	0,1301	863,2	0,1258	863,0	280	0,06626	698,7	0,06415	697,8	0,06216	696,8
580	0,1364	868,8	0,1317	868,6	0,1274	868,4	290	0,06813	705,4	0,06599	704,6	0,06397	703,7
590	0,1380	874,2	0,1334	874,0	0,1290	873,8	300	0,06994	711,9	0,06777	711,1	0,06572	710,3
600	0,1397	879,6	0,1350	879,4	0,1306	879,2	310	0,07170	718,1	0,06950	717,4	0,06742	716,7

Продолжение табл. XXV

$t, ^\circ\text{C}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$	$t, ^\circ\text{C}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$
$p=35,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$			$p=36,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$			$p=37,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$	$p=38,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$			$p=39,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$			$p=40,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$
320	0,07343	724,2	0,07119	723,6	0,06908	722,9	450	0,08612	796,4	0,08382	796,1	0,08164	795,8
330	0,07512	730,2	0,07285	729,6	0,07070	729,0	460	0,08749	801,9	0,08516	801,6	0,08295	801,3
340	0,07677	736,1	0,07447	735,5	0,07229	734,9	470	0,08886	807,3	0,08650	807,0	0,08426	806,7
350	0,07840	741,9	0,07607	741,4	0,07385	740,8	480	0,09023	812,8	0,08783	812,5	0,08556	812,2
360	0,08001	747,7	0,07764	747,2	0,07539	746,7	490	0,09158	818,2	0,08916	817,9	0,08685	817,6
370	0,08160	753,4	0,07919	752,9	0,07691	752,4	500	0,09293	823,6	0,09048	823,3	0,08814	823,1
380	0,08317	759,0	0,08072	758,5	0,07841	758,1	510	0,09428	829,0	0,09179	828,8	0,08943	828,5
390	0,08473	764,6	0,08224	764,2	0,07989	763,7	520	0,09562	834,4	0,09310	834,2	0,09070	834,0
400	0,08627	770,1	0,08375	769,7	0,08136	769,3	530	0,09695	839,9	0,09440	839,6	0,09198	839,4
410	0,08779	775,6	0,08524	775,2	0,08282	774,8	540	0,09828	845,3	0,09570	845,0	0,09325	844,8
420	0,08931	781,1	0,08672	780,7	0,08426	780,3	550	0,09960	850,7	0,09699	850,5	0,09450	850,3
430	0,09082	786,5	0,08819	786,2	0,08570	785,8	560	0,10093	856,1	0,09828	855,9	0,09577	855,7
440	0,09231	792,0	0,08965	791,6	0,08713	791,3	570	0,10224	861,6	0,09956	861,4	0,09702	861,2
450	0,09380	797,4	0,09110	797,1	0,08854	796,8	580	0,1036	867,0	0,10085	866,8	0,09827	866,6
460	0,09529	802,8	0,09254	802,5	0,08995	802,2	590	0,1049	872,5	0,10213	872,3	0,09953	872,1
470	0,09676	808,2	0,09398	807,9	0,09135	807,6	600	0,1062	877,9	0,1034	877,7	0,10078	877,5
480	0,09823	813,6	0,09541	813,3	0,09275	813,0	610	0,1075	883,4	0,1047	883,2	0,10202	883,0
490	0,09969	819,0	0,09684	818,7	0,09414	818,4	620	0,1088	888,8	0,1060	888,6	0,1033	888,5
500	0,1011	824,4	0,09826	824,1	0,09552	823,9	630	0,1101	894,3	0,1072	894,1	0,1045	893,9
510	0,1026	829,8	0,09967	829,5	0,09690	829,3	640	0,1114	899,8	0,1085	899,6	0,1057	899,4
520	0,1040	835,2	0,1011	834,9	0,09827	834,7	650	0,1127	905,2	0,1098	905,1	0,1070	904,9
530	0,1055	840,6	0,1025	840,3	0,09964	840,1							
540	0,1069	846,0	0,1039	845,7	0,10101	845,5							
550	0,1083	851,4	0,1053	851,2	0,10236	850,9							
560	0,1098	856,8	0,1066	856,6	0,1037	856,3							
570	0,1112	862,2	0,1080	862,0	0,1051	861,8							
580	0,1126	867,6	0,1094	867,4	0,1064	867,2							
590	0,1140	873,0	0,1108	872,8	0,1078	872,7							
600	0,1154	878,5	0,1122	878,3	0,1091	878,1							
610	0,1169	883,9	0,1136	883,7	0,1104	883,5							
620	0,1183	889,4	0,1149	889,2	0,1118	889,0							
630	0,1197	894,8	0,1163	894,6	0,1131	894,4							
640	0,1211	900,3	0,1177	900,1	0,1144	899,9							
650	0,1225	905,7	0,1190	905,6	0,1158	905,4							
$p=38,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$			$p=39,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$			$p=40,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$	$p=41,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$			$p=42,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$			$p=43,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$
250	0,05433	672,3	0,05259	670,9	0,05092	669,5	260	0,05140	677,0	0,04988	675,7	0,04842	674,4
260	0,05643	680,7	0,05468	679,5	0,05300	678,3	270	0,05332	685,3	0,05179	684,1	0,05032	683,0
270	0,05840	688,5	0,05662	687,5	0,05494	686,4	280	0,05513	693,0	0,05358	692,0	0,05209	691,0
280	0,06027	695,9	0,05847	694,9	0,05676	693,9	290	0,05685	700,2	0,05528	699,3	0,05378	698,4
290	0,06206	702,8	0,06023	702,0	0,05850	701,1	300	0,05850	707,2	0,05691	706,4	0,05539	705,5
300	0,06378	709,5	0,06193	708,8	0,06018	708,0	310	0,06010	713,8	0,05848	713,1	0,05694	712,3
310	0,06545	716,0	0,06357	715,3	0,06179	714,6	320	0,06164	720,3	0,06000	719,6	0,05844	718,9
320	0,06708	722,3	0,06517	721,6	0,06336	720,9	330	0,06315	726,5	0,06149	725,9	0,05990	725,2
330	0,06867	728,4	0,06673	724,8	0,06490	727,1	340	0,06463	732,6	0,06294	732,0	0,06133	731,5
340	0,07022	734,4	0,06826	733,8	0,06640	733,2	350	0,06607	738,7	0,06436	738,1	0,06272	737,6
350	0,07176	740,3	0,06976	739,7	0,06787	739,2	360	0,06750	744,7	0,06575	744,1	0,06409	743,6
360	0,07326	746,2	0,07124	745,7	0,06932	745,2	370	0,06889	750,5	0,06713	750,0	0,06544	749,6
370	0,07475	751,9	0,07270	751,5	0,07075	751,0	380	0,07027	756,3	0,06848	755,8	0,06677	755,4
380	0,07621	757,6	0,07413	757,2	0,07216	756,8	390	0,07164	762,0	0,06982	761,6	0,06808	761,2
390	0,07767	763,3	0,07555	762,9	0,07355	762,5	400	0,07299	767,7	0,07114	767,3	0,06938	766,9
400	0,07910	768,9	0,07696	768,5	0,07492	768,1	410	0,07432	773,3	0,07245	772,9	0,07066	772,5
410	0,08053	774,5	0,07835	774,1	0,07629	773,7	420	0,07565	778,9	0,07375	778,5	0,07194	778,1
420	0,08194	780,0	0,07974	779,6	0,07764	779,3	430	0,07696	784,4	0,07503	784,1	0,07320	783,7
430	0,08334	785,5	0,08111	785,1	0,07898	784,3	440	0,07826	790,0	0,07631	789,6	0,07445	789,3
440	0,08474	791,0	0,08247	790,6	0,08031	790,3	450	0,07956	795,5	0,07758	795,1	0,07569	794,8
							460	0,08084	801,0	0,07884	800,6	0,07692	800,3
							470	0,08212	806,4	0,08009	806,1	0,07815	805,8
							480	0,08339	811,9	0,08134	811,6	0,07937	811,3
							490	0,08466	817,4	0,08257	817,1	0,08058	816,8
							500	0,08592	822,8	0,08381	822,5	0,08179	822,3
							510	0,08718	828,2	0,08504	828,0	0,08299	827,7
							520	0,08843	833,7	0,08626	833,4	0,08419	833,2
							530	0,08967	839,2	0,08748	838,9	0,08538	838,7
							540	0,09091	844,6	0,08869	844,4	0,08657	844,1
							550	0,09214	850,0	0,08989	849,8	0,08775	849,6

Продолжение табл. XXV														
$t, ^\circ\text{C}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$	$t, ^\circ\text{C}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$	
$p=50,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$			$p=52,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$			$p=54,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$			$p=56,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$			$p=58,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$		
420	0,06129	775,5	0,05877	774,8	0,05644	774,0	570	0,06867	857,8	0,06623	857,4	0,06395	857,0	
430	0,06240	781,2	0,05984	780,5	0,05748	779,8	580	0,06959	863,4	0,06712	863,0	0,06481	862,6	
440	0,06350	786,9	0,06091	786,2	0,05851	785,5	590	0,07051	868,9	0,06801	868,5	0,06567	868,2	
450	0,06459	792,5	0,06197	791,9	0,05954	791,2	600	0,07142	874,5	0,06889	874,1	0,06653	873,7	
460	0,06567	798,1	0,06301	797,5	0,06055	796,9	610	0,07233	880,0	0,06977	879,7	0,06738	879,3	
470	0,06675	803,7	0,06405	803,1	0,06156	802,5	620	0,07324	885,6	0,07065	885,2	0,06824	884,9	
480	0,06782	809,3	0,06509	808,7	0,06256	808,1	630	0,07414	891,1	0,07153	890,8	0,06908	890,4	
490	0,06888	814,9	0,06611	814,3	0,06355	813,7	640	0,07505	896,7	0,07240	896,4	0,06993	896,0	
500	0,06993	820,4	0,06713	819,9	0,06454	819,3	650	0,07595	902,3	0,07327	901,9	0,07078	901,6	
510	0,07098	825,9	0,06815	825,4	0,06552	824,9								
520	0,07203	831,5	0,06916	831,0	0,06649	830,5								
530	0,07307	837,0	0,07016	836,5	0,06746	836,0								
540	0,07410	842,5	0,07116	842,0	0,06843	841,6								
550	0,07513	848,0	0,07215	847,6	0,06939	847,1								
560	0,07616	853,6	0,07314	853,1	0,07035	852,7								
570	0,07718	859,1	0,07413	858,7	0,07130	858,2	280	0,03255	668,6	0,03111	665,8	0,03133	674,1	
580	0,07820	864,6	0,07511	864,2	0,07225	863,8	290	0,03412	678,9	0,03269	676,6	0,03276	684,1	
590	0,07922	870,1	0,07609	869,7	0,07320	869,3	300	0,03555	688,2	0,03412	686,2	0,03408	693,1	
600	0,08023	875,6	0,07707	875,2	0,07414	874,9	310	0,03688	696,8	0,03544	695,0	0,03531	701,5	
610	0,08124	881,2	0,07804	880,8	0,07508	880,4	320	0,03814	704,8	0,03668	703,2	0,03648	709,4	
620	0,08225	886,7	0,07901	886,3	0,07602	886,0	330	0,03933	712,3	0,03786	710,9	0,03759	716,8	
630	0,08325	892,2	0,07998	891,8	0,07696	891,5	340	0,04048	719,5	0,03899	718,2	0,03866	724,0	
640	0,08426	897,7	0,08095	897,4	0,07789	897,0	350	0,04158	726,5	0,04008	725,3	0,03970	731,1	
650	0,08526	903,3	0,08192	902,9	0,07882	902,6	360	0,04265	733,4	0,04113	732,2			

Продолжение табл. XXV

$t, ^\circ\text{C}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$	$t, ^\circ\text{C}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$
	$p=68,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$		$p=70,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$		$p=72,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$			$p=74,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$		$p=76,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$		$p=78,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$	
340	0,03627	715,5	0,03503	714,1	0,03385	712,6	540	0,04926	836,9	0,04790	836,4	0,04660	835,9
350	0,03733	722,8	0,03609	721,5	0,03488	720,2	550	0,04999	842,6	0,04861	842,1	0,04730	841,7
360	0,03834	729,9	0,03707	728,7	0,03586	727,5	560	0,05071	848,3	0,04932	847,8	0,04799	847,4
370	0,03933	736,7	0,03804	735,6	0,03682	734,5	570	0,05143	854,0	0,05002	853,6	0,04868	853,1
380	0,04029	743,4	0,03898	742,4	0,03775	741,3	580	0,05215	859,7	0,05072	859,3	0,04936	858,9
390	0,04123	749,9	0,03990	748,9	0,03865	748,0	590	0,05286	865,4	0,05142	865,0	0,05004	864,6
400	0,04215	756,2	0,04080	755,3	0,03953	754,4	600	0,05357	871,0	0,05211	870,6	0,05072	870,3
410	0,04305	762,4	0,04169	761,6	0,04040	760,7	610	0,05428	876,7	0,05280	876,3	0,05140	875,9
420	0,04393	768,5	0,04255	767,7	0,04125	766,9	620	0,05498	882,3	0,05349	882,0	0,05207	881,6
430	0,04481	774,6	0,04341	773,8	0,04209	773,1	630	0,05568	888,0	0,05417	887,6	0,05274	887,3
440	0,04567	780,6	0,04425	779,8	0,04291	779,1	640	0,05638	893,6	0,05485	893,3	0,05340	892,9
450	0,04652	786,5	0,04508	785,8	0,04373	785,1	650	0,05708	899,3	0,05553	898,9	0,05407	898,6
460	0,04736	792,4	0,04590	791,7	0,04453	791,0		$p=80,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$		$p=82,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$		$p=84,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$	
470	0,04819	798,2	0,04672	797,6	0,04532	796,9	300	0,02498	667,4	0,02406	664,7	0,02313	661,9
480	0,04902	804,0	0,04752	803,4	0,04611	802,8	310	0,02633	678,8	0,02541	676,6	0,02454	674,2
490	0,04983	809,8	0,04832	809,2	0,04689	808,6	320	0,02754	689,0	0,02663	687,0	0,02575	685,0
500	0,05064	815,5	0,04911	815,0	0,04766	814,4	330	0,02865	698,2	0,02774	696,5	0,02689	694,7
510	0,05145	821,2	0,04990	820,7	0,04843	820,1	340	0,02970	706,7	0,02878	705,2	0,02790	703,6
520	0,05225	826,9	0,05068	826,4	0,04919	825,9	350	0,03068	714,8	0,02976	713,4	0,02888	712,0
530	0,05304	832,6	0,05145	832,1	0,04995	831,6	360	0,03163	722,6	0,03069	721,4	0,02980	720,1
540	0,05383	838,3	0,05222	837,8	0,05070	837,3	370	0,03253	730,0	0,03159	728,8	0,03069	727,7
550	0,05461	844,0	0,05298	843,5	0,05144	843,0	380	0,03341	737,1	0,03245	736,1	0,03154	735,0
560	0,05539	849,6	0,05374	849,2	0,05218	848,7	390	0,03426	744,0	0,03329	743,0	0,03237	742,0
570	0,05616	855,3	0,05450	854,8	0,05292	854,4	400	0,03508	750,7	0,03410	749,8	0,03317	748,9
580	0,05694	860,9	0,05525	860,5	0,05366	860,1	410	0,03589	757,3	0,03490	756,4	0,03396	755,5
590	0,05771	866,6	0,05600	866,2	0,05439	865,8	420	0,03668	763,7	0,03568	762,8	0,03472	762,0
600	0,05847	872,2	0,05674	871,8	0,05511	871,4	430	0,03746	770,0	0,03644	769,2	0,03547	768,4
610	0,05923	877,8	0,05749	877,4	0,05584	877,1	440	0,03822	776,2	0,03719	775,4	0,03621	774,7
620	0,05999	883,4	0,05823	883,1	0,05656	882,7	450	0,03897	782,3	0,03793	781,6	0,03694	780,9
630	0,06075	889,0	0,05896	888,7	0,05728	888,3	460	0,03972	788,4	0,03866	787,7	0,03765	787,0
640	0,06150	894,6	0,05970	894,3	0,05799	894,0	470	0,04045	794,4	0,03938	793,8	0,03836	793,1
650	0,06226	900,3	0,06043	899,9	0,05871	899,6	480	0,04117	800,4	0,04009	799,8	0,03905	799,1
	$p=74,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$		$p=76,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$		$p=78,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$		490	0,04189	806,3	0,04079	805,7	0,03974	805,1
290	0,02654	663,4					500	0,04260	812,2	0,04149	811,6	0,04043	811,0
300	0,02801	675,0	0,02696	672,6	0,02595	670,0	510	0,04330	818,0	0,04218	817,5	0,04110	816,9
310	0,02933	685,3	0,02828	683,2	0,02728	681,0	520	0,04400	823,8	0,04286	823,3	0,04177	822,8
320	0,03053	694,6	0,02948	692,8	0,02849	690,9	530	0,04469	829,6	0,04354	829,1	0,04244	828,6
330	0,03166	703,1	0,03061	701,5	0,02961	699,9	540	0,04538	835,4	0,04421	834,9	0,04310	834,5
340	0,03273	711,2	0,03167	709,7	0,03066	708,2	550	0,04606	841,2	0,04487	840,7	0,04375	840,3
350	0,03374	718,9	0,03267	717,5	0,03165	716,2	560	0,04673	847,0	0,04554	846,5	0,04440	846,1
360	0,03472	726,3	0,03364	725,1	0,03261	723,9	570	0,04741	852,7	0,04620	852,3	0,04504	851,8
370	0,03566	733,4	0,03457	732,3	0,03352	731,2	580	0,04808	858,4	0,04685	858,0	0,04568	857,6
380	0,03658	740,3	0,03547	739,3	0,03441	738,2	590	0,04874	864,2	0,04750	863,8	0,04632	863,4
390	0,03746	747,0	0,03634	746,0	0,03527	745,0	600	0,04940	869,9	0,04815	869,5	0,04696	869,1
400	0,03833	753,5	0,03719	752,6	0,03611	751,7	610	0,05006	875,6	0,04880	875,2	0,04759	874,8
410	0,03918	759,9	0,03803	759,0	0,03693	758,1	620	0,05072	881,2	0,04944	880,9	0,04822	880,5
420	0,04002	766,1	0,03885	765,3	0,03774	764,5	630	0,05137	886,9	0,05008	886,6	0,04884	886,2
430	0,04084	772,3	0,03965	771,5	0,03853	770,8	640	0,05202	892,6	0,05072	892,2	0,04947	891,9
440	0,04164	778,4	0,04044	777,7	0,03930	776,9	650	0,05267	898,3	0,05135	897,9	0,05009	897,6
450	0,04244	784,4	0,04123	783,7	0,04007	783,0		$p=86,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$		$p=88,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$		$p=90,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$	
460	0,04323	790,4	0,04200	789,7	0,04083	789,1	300	0,02230	658,9				
470	0,04401	796,3	0,04276	795,7	0,04157	795,0	310	0,02369	671,8	0,02288	699,3	0,02209	666,8
480	0,04478	802,2	0,04351	801,6	0,04231	801,0	320	0,02492	683,0	0,02412	680,9	0,02334	678,7
490	0,04554	808,0	0,04426	807,4	0,04304	806,9	330	0,02603	692,9	0,02523	691,1	0,02446	689,2
500	0,04630	813,8	0,04500	813,3	0,04377	812,7	340	0,02706	702,1	0,02626	700,4	0,02549	698,8
510	0,04705	819,6	0,04573	819,1	0,04449	818,6							
520	0,04779	825,4	0,04646	824,9	0,04520	824,4							
530	0,04853	831,1	0,04718	830,6	0,04590	830,2							

$t, ^\circ\text{C}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$	$t, ^\circ\text{C}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$		
$p=86,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$			$p=88,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$			$p=90,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$			$p=92,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$			$p=94,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$			
350	0,02803	710,6	0,02722	709,2	0,02645	707,7	560	0,04034	844,3	0,03943	844,3	0,03856	843,4		
360	0,02895	718,8	0,02814	717,4	0,02736	716,1	570	0,04093	850,1	0,04001	849,7	0,03913	849,2		
370	0,02983	726,5	0,02901	725,3	0,02822	724,1	580	0,04153	855,9	0,04060	855,3	0,03971	855,1		
380	0,03067	733,9	0,02984	732,8	0,02905	731,6	590	0,04212	861,7	0,04118	861,7	0,04028	860,9		
390	0,03149	741,0	0,03065	740,0	0,02985	738,9	600	0,04270	867,5	0,04175	867,5	0,04084	866,7		
400	0,03228	747,9	0,03143	747,0	0,03062	746,0	610	0,04329	873,3	0,04233	872,9	0,04140	872,5		
410	0,03305	754,6	0,03219	753,7	0,03137	752,8	620	0,04387	879,0	0,04289	878,7	0,04196	878,3		
420	0,03381	761,2	0,03294	760,3	0,03210	759,5	630	0,04444	884,8	0,04346	884,4	0,04252	884,1		
430	0,03455	767,6	0,03366	766,8	0,03282	766,0	640	0,04502	890,5	0,04402	890,2	0,04307	889,8		
440	0,03527	774,0	0,03438	773,2	0,03353	772,4	650	0,04559	896,3	0,04459	895,9	0,04362	895,6		
450	0,03599	780,2	0,03508	779,5	0,03422	778,8	$p=98,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$			$p=100,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$			$p=105,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$		
460	0,03669	786,4	0,03577	785,7	0,03490	785,0	310	0,01919	655,5	0,01851	652,4	0,01832	660,4		
470	0,03738	792,5	0,03646	791,8	0,03557	791,2	320	0,02052	669,5	0,01987	667,0	0,01953	673,9		
480	0,03807	798,5	0,03713	797,9	0,03623	797,3	330	0,02167	681,4	0,02103	679,3	0,02058	685,5		
490	0,03875	804,5	0,03779	803,9	0,03688	803,3	340	0,02270	692,0	0,02207	690,2	0,02153	696,0		
500	0,03942	810,5	0,03845	809,9	0,03753	809,3	350	0,02366	701,6	0,02302	700,0	0,02242	705,6		
510	0,04008	816,4	0,03910	815,9	0,03817	815,3	360	0,02454	710,6	0,02391	709,2	0,02324	714,5		
520	0,04074	822,3	0,03975	821,8	0,03880	821,2	370	0,02538	719,1	0,02474	717,8	0,02402	722,9		
530	0,04139	828,2	0,04039	827,6	0,03943	827,1	380	0,02618	727,1	0,02554	725,9	0,02477	730,9		
540	0,04203	834,0	0,04102	833,5	0,04005	833,0	390	0,02695	734,7	0,02630	733,6	0,02549	738,5		
550	0,04267	839,8	0,04165	839,3	0,04067	838,9	400	0,02769	742,0	0,02703	741,1	0,02618	745,8		
560	0,04331	845,6	0,04227	845,2	0,04128	844,7	410	0,02841	749,1	0,02774	748,2	0,02685	753,0		
570	0,04394	851,4	0,04289	851,0	0,04189	850,6	420	0,02911	756,0	0,02843	755,2	0,02751	759,9		
580	0,04457	857,2	0,04351	856,8	0,04250	856,4	430	0,02979	762,8	0,02910	762,0	0,02814	766,6		
590	0,04420	863,0	0,04412	862,6	0,04310	862,2	440	0,03045	769,4	0,02976	768,6	0,02877	773,3		
600	0,04582	868,7	0,04473	868,3	0,04370	867,9	450	0,03111	775,9	0,03040	775,1	0,02938	779,8		
610	0,04644	874,4	0,04534	874,0	0,04429	873,7	460	0,03175	782,2	0,03104	781,5	0,02998	786,2		
620	0,04705	880,1	0,04594	879,8	0,04488	879,4	470	0,03238	788,5	0,03166	787,9	0,03057	792,5		
630	0,04767	885,8	0,04654	885,5	0,04547	885,1	480	0,03300	794,8	0,03227	794,1	0,03116	798,8		
640	0,04828	891,6	0,04714	891,2	0,04606	890,9	490	0,03361	800,9	0,03287	800,3	0,03173	805,0		
650	0,04888	897,3	0,04774	896,9	0,04664	896,6	500	0,03422	807,0	0,03347	806,5	0,03230	811,2		
$p=92,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$			$p=94,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$			$p=96,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$			510	0,03482	813,1	0,03406	812,6		
310	0,02134	664,1	0,02060	661,4	0,01989	658,5	520	0,03541	819,1	0,03464	818,6	0,03286	817,3		
320	0,02260	676,2	0,02188	674,2	0,02119	671,9	530	0,03599	825,1	0,03522	824,6	0,03342	823,3		
330	0,02373	687,4	0,02302	685,4	0,02233	683,4	540	0,03658	831,1	0,03579	830,6	0,03397	829,3		
340	0,02475	697,2	0,02404	695,4	0,02336	693,7	550	0,03715	837,0	0,03636	836,5	0,03451	835,3		
350	0,02571	706,2	0,02500	704,7	0,02431	703,2	560	0,03772	842,9	0,03692	842,5	0,03505	841,3		
360	0,02661	714,8	0,02589	713,4	0,02521	712,0	570	0,03829	848,8	0,03748	848,4	0,03559	847,3		
370	0,02747	722,8	0,02675	721,6	0,02605	720,4	580	0,03885	854,7	0,03803	854,3	0,03612	853,2		
380	0,02829	730,5	0,02756	729,4	0,02686	728,2	590	0,03941	860,5	0,03858	860,1	0,03665	859,1		
390	0,02908	737,9	0,02834	736,9	0,02763	735,8	600	0,03997	866,4	0,03913	866,0	0,03717	865,0		
400	0,02984	745,0	0,02909	744,0	0,02838	743,0	610	0,04051	872,2	0,03967	871,8	0,03769	870,8		
410	0,03058	751,9	0,02983	751,0	0,02910	750,1	620	0,04107	877,9	0,04021	877,6	0,03821	876,6		
420	0,03131	758,6	0,03054	757,8	0,02981	756,9	630	0,04161	883,7	0,04075	883,4	0,03872	882,5		
430	0,03201	765,2	0,03124	764,4	0,03050	763,6	640	0,04216	889,5	0,04128	889,1	0,03923	888,3		
440	0,03271	771,7	0,03192	770,9	0,03117	770,2	650	0,04270	895,2	0,04181	894,9	0,03974	894,1		
450	0,03339	778,0	0,03259	777,3	0,03184	776,6	$p=110,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$			$p=115,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$			$p=120,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$		
460	0,03406	784,3	0,03325	783,6	0,03249	782,9	320	0,01687	653,2	0,01548	645,0	0,01558	675,0		
470	0,03472	790,5	0,03390	789,9	0,03313	789,2	330	0,01813	668,1	0,01632	661,8	0,01674	669,9		
480	0,03537	796,6	0,03455	796,0	0,03376	795,4	340	0,01920	680,6	0,01793	675,5	0,01773	682,6		
490	0,03601	802,7	0,03518	802,1	0,03438	801,5	350	0,02016	691,7	0,01890	687,3	0,01863	693,8		
500	0,03665	808,8	0,03580	808,2	0,03499	807,6	360	0,02105	701,8	0,01979	697,9	0,01944	704,0		
510	0,03728	814,8	0,03642	814,2	0,03560	813,7	370	0,02187	711,1	0,02061	707,7	0,02021	713,5		
520	0,03790	820,7	0,03702	820,2	0,03620	819,7	380	0,02264	719,9	0,02138	716,7	0,02093	722,3		
530	0,03852	826,6	0,03764	826,1	0,03680	825,6	390	0,02338	728,1	0,02210	725,2	0,02161	730,6		
540	0,03913	832,5	0,03824	832,0	0,03739	831,6	400	0,02408	735,9	0,02279	733,3	0,02226	738,5		
550	0,03973	838,4	0,03884	837,9	0,03798	837,5	410	0,02476	743,4	0,02346	741,0				

Продолжение табл. XXV

$t, ^\circ\text{C}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$	$t, ^\circ\text{C}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$			
$p=110,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$			$p=115,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$			$p=120,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$			$p=140,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$			$p=145,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$		$p=150,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$		
420	0,02542	750,7	0,02410	748,4	0,02289	746,1	340	0,01254	643,0	0,01156	634,2					
430	0,02605	757,8	0,02472	755,6	0,02350	753,4	350	0,01372	661,1	0,01284	654,8	0,01198	647,8			
440	0,02667	764,6	0,02533	762,6	0,02409	760,6	360	0,01469	675,8	0,01385	670,7	0,01304	665,2			
450	0,02728	771,4	0,02592	769,5	0,02467	767,6	370	0,01554	688,3	0,01472	684,0	0,01393	679,5			
460	0,02787	778,0	0,02650	776,2	0,02523	774,4	380	0,01631	699,5	0,01549	695,8	0,01472	691,9			
470	0,02846	784,5	0,02706	782,8	0,02578	781,1	390	0,01702	709,7	0,01620	706,4	0,01543	702,9			
480	0,02903	790,9	0,02762	789,3	0,02632	787,7	400	0,01768	719,2	0,01686	716,1	0,01609	713,0			
490	0,02959	797,3	0,02816	795,7	0,02685	794,2	410	0,01831	728,0	0,01748	725,2	0,01671	722,4			
500	0,03015	803,6	0,02870	802,1	0,02738	800,6	420	0,01890	736,4	0,01807	733,9	0,01729	731,3			
510	0,03070	809,8	0,02923	808,4	0,02789	806,9	430	0,01947	744,4	0,01863	742,1	0,01785	739,7			
520	0,03124	815,9	0,02976	814,6	0,02840	813,2	440	0,02002	752,2	0,01917	750,0	0,01838	747,8			
530	0,03178	822,0	0,03028	820,7	0,02890	819,4	450	0,02055	759,6	0,01970	757,6	0,01890	755,6			
540	0,03231	828,1	0,03079	826,9	0,02940	825,6	460	0,02107	766,9	0,02020	765,0	0,01940	763,1			
550	0,03283	834,2	0,03130	833,0	0,02989	831,8	470	0,02157	774,0	0,02070	772,2	0,01988	770,4			
560	0,03335	840,2	0,03180	839,0	0,03038	837,9	480	0,02206	781,0	0,02118	779,3	0,02035	777,6			
570	0,03387	846,2	0,03230	845,1	0,03086	844,0	490	0,02254	787,8	0,02165	786,2	0,02082	784,6			
580	0,03438	852,1	0,03279	851,1	0,03133	850,0	500	0,02302	794,5	0,02211	793,0	0,02127	791,4			
590	0,03489	858,1	0,03328	857,0	0,03181	856,0	510	0,02348	801,2	0,02256	799,7	0,02171	798,2			
600	0,03539	864,0	0,03376	863,0	0,03228	862,0	520	0,02394	807,7	0,02301	806,3	0,02215	804,9			
610	0,03589	869,9	0,03425	868,9	0,03274	867,9	530	0,02438	814,2	0,02345	812,8	0,02258	811,5			
620	0,03639	875,7	0,03473	874,8	0,03320	873,9	540	0,02483	820,6	0,02388	819,3	0,02300	818,0			
630	0,03688	881,6	0,03520	880,7	0,03366	879,8	550	0,02527	826,9	0,02431	825,7	0,02342	824,4			
640	0,03737	887,4	0,03568	886,5	0,03412	885,7	560	0,02570	833,2	0,02473	832,0	0,02383	830,8			
650	0,03786	893,2	0,03615	892,4	0,03457	891,5	570	0,02612	839,5	0,02515	838,3	0,02423	837,2			
	$p=125,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$			$p=130 \text{ кгс}/\text{см}^2$			$p=135,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$			580	0,02655	845,7	0,02556	844,6	0,02463	843,5
330	0,01439	647,4	0,01323	638,9			590	0,02697	851,8	0,02596	850,8	0,02503	849,7			
340	0,01561	664,0	0,01455	657,7	0,01353	650,7	600	0,02738	858,0	0,02637	857,0	0,02542	855,9			
350	0,01664	677,7	0,01561	672,5	0,01464	667,0	610	0,02779	864,1	0,02677	863,1	0,02581	862,1			
360	0,01754	689,6	0,01654	685,2	0,01559	680,6	620	0,02820	870,1	0,02716	869,2	0,02619	868,2			
370	0,01837	700,3	0,01736	696,5	0,01642	692,5	630	0,02860	876,1	0,02755	875,2	0,02658	874,3			
380	0,01913	710,2	0,01812	706,7	0,01719	703,2	640	0,02900	882,1	0,02794	881,3	0,02696	880,4			
390	0,01984	719,2	0,01883	716,2	0,01790	713,0	650	0,02940	888,1	0,02833	887,3	0,02733	886,4			
400	0,02052	727,8	0,01950	725,0	0,01856	722,1	$p=155,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$			$p=160,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$			$p=165,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$			
410	0,02116	735,9	0,02014	733,4	0,01919	730,7	350	0,01114	640,2	0,01031	631,5	0,00946	621,5			
420	0,02178	743,7	0,02075	741,3	0,01979	738,9	360	0,01227	659,5	0,01152	653,3	0,01080	646,6			
430	0,02238	751,2	0,02134	749,0	0,02037	746,7	370	0,01319	674,8	0,01248	669,8	0,01180	664,5			
440	0,02296	758,5	0,02190	756,4	0,02093	754,3	380	0,01399	687,8	0,01329	683,6	0,01263	679,2			
450	0,02352	765,6	0,02245	763,7	0,02147	761,7	390	0,01470	699,4	0,01402	695,7	0,01337	691,9			
460	0,02407	772,6	0,02299	770,7	0,02200	768,8	400	0,01536	709,9	0,01468	706,6	0,01403	703,3			
470	0,02460	779,4	0,02352	777,6	0,02251	775,8	410	0,01598	719,6	0,01530	716,6	0,01465	713,6			
480	0,02513	786,0	0,02403	784,4	0,02301	782,7	420	0,01656	728,7	0,01587	726,0	0,01522	723,3			
490	0,02565	792,6	0,02454	791,0	0,02350	789,4	430	0,01711	737,3	0,01642	734,8	0,01577	732,3			
500	0,02616	799,1	0,02503	797,6	0,02399	796,1	440	0,01764	745,5	0,01694	743,2	0,01629	740,9			
510	0,02666	805,5	0,02552	804,1	0,02446	802,6	450	0,01815	753,4	0,01744	751,3	0,01678	749,2			
520	0,02715	811,8	0,02600	810,5	0,02493	809,1	460	0,01864	761,1	0,01793	759,1	0,01726	757,1			
530	0,02764	818,1	0,02647	816,8	0,02539	815,5	470	0,01912	768,6	0,01840	766,7	0,01773	764,8			
540	0,02812	824,4	0,02694	823,1	0,02584	821,8	480	0,01958	775,8	0,01886	774,1	0,01818	772,3			
550	0,02860	830,6	0,02740	829,3	0,02629	828,2	490	0,02004	782,9	0,01930	781,3	0,01861	779,6			
560	0,02907	836,7	0,02786	835,6	0,02674	834,4	500	0,02048	789,9	0,01974	788,3	0,01904	786,7			
570	0,02953	842,8	0,02831	841,8	0,02718	840,6	510	0,02091	796,7	0,02016	795,2	0,01946	793,7			
580	0,02999	848,9	0,02876	847,9	0,02761	846,8	520	0,02134	803,5	0,02058	802,0	0,01987	800,6			
590	0,03045	855,0	0,02920	853,9	0,02804	852,9	530	0,02176	810,1	0,02099	808,7	0,02027	807,4			
600	0,03090	861,0	0,02964	860,0	0,02847	859,0	540	0,02217	816,7	0,02139	815,4	0,02067	814,1			
610	0,03135	867,0	0,03008	866,0	0,02889	865,0	550	0,02258	823,2	0,02179	821,9	0,02106	820,7			
620	0,03180	872,9	0,03051	872,0	0,02931	871,1	560	0,02298	829,6	0,02219	828,4	0,02144	827,2			
630	0,03225	878,9	0,03094	878,0	0,02973	877,1	570	0,02338	836,0	0,02257	834,9	0,02182	833,7			
640	0,03269	884,8	0,03136	883,9	0,03014	883,0	580	0,02377	842,4	0,02295	841,3	0,02219	840,2			
650	0,03312	890,7	0,03179	889,8	0,03055	889,0	590	0,02415	848,7	0,02333	847,6	0,02256	846,6			

$t, ^\circ\text{C}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$	$t, ^\circ\text{C}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$
	$p=155,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$		$p=160,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$		$p=165,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$			$p=185,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$		$p=190,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$		$p=195,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$	
600	0,02454	854,9	0,02371	853,9	0,02293	852,9	610	0,02056	855,2	0,01997	854,2	0,01941	853,2
610	0,02492	861,1	0,02408	860,1	0,02329	859,2	620	0,02089	861,5	0,02029	860,6	0,01972	859,6
620	0,02529	867,3	0,02444	866,3	0,02365	865,4	630	0,02122	867,3	0,02061	866,9	0,02004	866,0
630	0,02566	873,4	0,02481	872,5	0,02400	871,6	640	0,02154	874,1	0,02092	873,2	0,02035	872,3
640	0,02603	879,5	0,02517	878,6	0,02435	877,7	650	0,02186	880,4	0,02124	879,5	0,02065	878,6
650	0,02640	885,6	0,02552	884,7	0,02470	883,8		$p=200,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$		$p=205,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$		$p=210,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$	
	$p=170,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$		$p=175,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$		$p=180,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$		370	0,007466	613,7	0,006807	601,9	0,006050	586,1
360	0,01009	639,2	0,009382	631,0	0,008664	621,5	380	0,008676	641,5	0,008166	634,6	0,007657	627,0
370	0,01114	658,9	0,01051	653,0	0,009894	646,6	390	0,009567	661,1	0,009100	655,9	0,008645	650,4
380	0,01200	674,6	0,01140	669,8	0,01082	664,8	400	0,010306	676,9	0,009858	672,6	0,009427	668,2
390	0,01275	688,0	0,01216	684,0	0,01160	679,8	410	0,01095	690,5	0,01052	686,8	0,01009	683,1
400	0,01342	699,8	0,01284	696,3	0,01229	692,7	420	0,01154	702,6	0,01110	699,4	0,01069	696,1
410	0,01404	710,6	0,01346	707,4	0,01291	704,2	430	0,01207	713,6	0,01164	710,7	0,01123	707,3
420	0,01461	720,5	0,01403	717,7	0,01348	714,8	440	0,01258	723,8	0,01214	721,2	0,01173	718,5
430	0,01515	729,8	0,01457	727,2	0,01402	724,6	450	0,01305	733,3	0,01262	730,9	0,01220	728,5
440	0,01567	738,6	0,01508	736,2	0,01453	733,8	460	0,01350	742,4	0,01306	740,2	0,01265	738,0
450	0,01616	747,0	0,01557	744,8	0,01501	742,6	470	0,01393	751,1	0,01349	749,0	0,01307	746,9
460	0,01663	755,1	0,01604	753,0	0,01548	751,0	480	0,01434	759,4	0,01390	757,5	0,01348	755,5
470	0,01709	762,9	0,01649	761,0	0,01592	759,0	490	0,01474	767,4	0,01430	765,6	0,01387	763,8
480	0,01753	770,5	0,01693	768,7	0,01635	766,9	500	0,01513	775,2	0,01468	773,5	0,01425	771,8
490	0,01796	777,9	0,01735	776,2	0,01677	774,5	510	0,01550	782,8	0,01505	781,2	0,01462	779,6
500	0,01838	785,1	0,01776	783,5	0,01718	781,9	520	0,01587	790,3	0,01541	788,8	0,01497	787,2
510	0,01880	792,2	0,01817	790,6	0,01758	789,1	530	0,01623	797,6	0,01576	796,1	0,01532	794,7
520	0,01920	799,1	0,01856	797,7	0,01797	796,2	540	0,01658	804,7	0,01611	803,3	0,01566	802,0
530	0,01959	806,0	0,01895	804,6	0,01835	803,2	550	0,01693	811,7	0,01645	810,4	0,01600	809,1
540	0,01998	812,7	0,01933	811,4	0,01872	810,1	560	0,01726	818,7	0,01678	817,4	0,01633	816,2
550	0,02036	819,4	0,01971	818,2	0,01909	816,9	570	0,01760	825,5	0,01711	824,3	0,01665	823,1
560	0,02074	826,0	0,02008	824,8	0,01945	823,6	580	0,01792	832,3	0,01743	831,2	0,01696	830,0
570	0,02111	832,6	0,02044	831,4	0,01981	830,2	590	0,01824	839,0	0,01775	837,9	0,01727	836,8
580	0,02148	839,1	0,02080	838,0	0,02016	836,8	600	0,01856	845,6	0,01806	844,5	0,01758	843,5
590	0,02184	845,5	0,02115	844,4	0,02051	843,3	610	0,01888	852,1	0,01837	851,1	0,01788	850,1
600	0,02219	851,9	0,02150	850,8	0,02086	849,8	620	0,01919	858,6	0,01867	857,6	0,01818	856,7
610	0,02255	858,2	0,02185	857,2	0,02119	856,2	630	0,01949	865,0	0,01897	864,1	0,01848	863,2
620	0,02290	864,4	0,02219	863,5	0,02152	862,5	640	0,01979	871,4	0,01927	870,5	0,01877	869,6
630	0,02324	870,6	0,02253	869,7	0,02185	868,8	650	0,02009	877,8	0,01957	876,9	0,01906	876,0
640	0,02359	876,8	0,02286	875,9	0,02218	875,0		$p=215,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$		$p=220,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$		$p=225,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$	
650	0,02393	883,0	0,02320	882,1	0,02251	881,2	380	0,007144	618,6	0,006619	609,0	0,006066	597,8
	$p=185,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$		$p=190,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$		$p=195,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$		390	0,008201	644,5	0,007764	638,3	0,007333	631,6
360	0,007910	610,2	0,008689	632,0	0,008085	623,5	400	0,009009	663,6	0,008604	658,7	0,008210	653,7
370	0,009289	639,6	0,009722	653,9	0,009194	647,9	410	0,009690	679,2	0,009299	675,2	0,008922	671,0
380	0,01026	659,5	0,01055	670,8	0,01005	666,1	420	0,01029	692,7	0,009907	689,2	0,009538	685,7
390	0,01106	675,4	0,01125	685,1	0,01077	681,1	430	0,01083	704,8	0,01045	701,7	0,01009	698,6
400	0,01176	688,9	0,01189	697,5	0,01141	694,1	440	0,01134	715,8	0,01096	713,1	0,01059	710,3
410	0,01238	700,9	0,01246	708,8	0,01199	705,7	450	0,01180	726,1	0,01143	723,6	0,01106	721,0
420	0,01296	711,8	0,01300	719,2	0,01253	716,4	460	0,01225	735,7	0,01187	733,4	0,01150	731,1
430	0,01350	721,9	0,01350	728,9	0,01303	726,3	470	0,01267	744,8	0,01229	742,7	0,01192	740,6
440	0,01400	731,4	0,01398	738,0	0,01350	735,7	480	0,01307	753,6	0,01269	751,6	0,01232	749,6
450	0,01448	740,3	0,01444	746,7	0,01396	744,6	490	0,01346	762,0	0,01307	760,2	0,01270	758,3
460	0,01494	748,9	0,01487	755,1	0,01439	753,1	500	0,01384	770,1	0,01345	768,4	0,01307	766,7
470	0,01538	757,1	0,01530	763,2	0,01481	761,3	510	0,01420	778,0	0,01381	776,4	0,01343	774,8
480	0,01581	765,0	0,01570	771,0	0,01521	769,2	520	0,01456	785,7	0,01416	784,2	0,01377	782,6
490	0,01623	772,7	0,01610	778,6	0,01560	776,9	530	0,01490	793,2	0,01450	791,8	0,01411	790,3
500	0,01663	780,2	0,01649	786,0	0,01598	784,4	540	0,01524	800,6	0,01483	799,2	0,01444	797,8
510	0,01702	787,6	0,01686	793,3	0,01636	791,8	550	0,01557	807,8	0,01515	806,5	0,01476	805,2
520	0,01740	794,8	0,01723	800,4	0,01672	799,0	560	0,01589	814,9	0,01547	813,7	0,01507	812,5
530	0,01778	801,8	0,01760	807,4	0,01708	806,0	570	0,01621	821,9	0,01578	820,7	0,01538	819,5
540	0,01814	808,8	0,01795	814,3	0,01743	813,0	580	0,01652	828,9	0,01609	827,7	0,01568	826,5
550	0,01851	815,6	0,01830	821,2	0,01777	819,9	590	0,01682	835,7	0,01639	834,6	0,01598	833,5
560	0,01886	822,4	0,01864	827,9	0,01811	826,7	600	0,01713	842,4	0,01669	841,4	0,01627	840,3
570	0,01921	829,1	0,01898	834,6	0,01844	833,4	610	0,01742	849,1	0,01698	848,1	0,01656	847,1
580	0,01956	835,7	0,01932	841,2	0,01877	840,1	620	0,01772	855,7	0,01727	854,7	0,01685	853,7
590	0,01990	842,2	0,01965	847,7	0,01909	846,7	630	0,01801	862,2	0,01756	861,3	0,01713	860,3
600	0,02023	848,7					640	0,01830	868,7	0,01784	867,8	0,01741	866,9
							650	0,01858	875,1	0,01812	874,2	0,01768	873,4

УДЕЛЬНЫЕ ОБЪЕМЫ И ЭНТАЛЬПИИ ПРИ СВЕРХКРИТИЧЕСКОМ ДАВЛЕНИИ

Таблица XXVI

$t, ^\circ\text{C}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$	$t, ^\circ\text{C}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$				
$p=230,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$			$p=240,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$			$p=250,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$			$p=230,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$			$p=240,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$			$p=250,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$		
0	0,0009892	5,41	0,0009887	5,65	0,0009883	5,88	470	0,01157	738,4	0,01091	734,0	0,01030	729,5				
10	0,0009899	15,2	0,0009894	15,4	0,0009890	15,7	480	0,01197	747,6	0,01130	743,6	0,01069	739,4				
20	0,0009918	25,0	0,0009913	25,3	0,0009909	25,5	490	0,01235	756,4	0,01168	752,6	0,01106	748,8				
30	0,0009946	34,9	0,0009941	35,1	0,0009937	35,3											
40	0,0009981	44,7	0,0009977	44,9	0,0009973	45,1	500	0,01271	764,9	0,01204	761,4	0,01142	757,8				
							510	0,01306	773,1	0,01238	769,8	0,01176	766,4				
50	0,0010024	54,6	0,0010019	54,8	0,0010015	55,0	520	0,01341	781,1	0,01272	777,9	0,01209	774,7				
60	0,0010072	64,5	0,0010068	64,7	0,0010064	64,9	530	0,01374	788,8	0,01305	785,8	0,01241	782,8				
70	0,0010127	74,4	0,0010123	74,6	0,0010119	74,7	540	0,01406	796,4	0,01336	793,6	0,01272	790,7				
80	0,0010187	84,3	0,0010183	84,5	0,0010179	84,9											
90	0,0010253	94,2	0,0010249	94,4	0,0010244	94,6	550	0,01438	803,8	0,01367	801,1	0,01302	798,4				
							560	0,01469	811,1	0,01398	808,6	0,01332	806,0				
100	0,0010324	104,1	0,0010320	104,3	0,0010315	104,5	570	0,01500	818,3	0,01428	815,9	0,01361	813,4				
110	0,0010401	114,1	0,0010396	114,3	0,0010391	114,4	580	0,01530	825,4	0,01457	823,0	0,01389	820,7				
120	0,0010483	124,1	0,0010478	124,3	0,0010473	124,4	590	0,01559	832,4	0,01485	830,1	0,01417	827,9				
130	0,0010571	134,1	0,0010565	134,3	0,0010560	134,4											
140	0,0010664	144,2	0,0010658	144,4	0,0010652	144,5	600	0,01588	839,2	0,01513	837,1	0,01445	834,9				
							610	0,01616	846,0	0,01541	844,0	0,01472	841,9				
150	0,0010763	154,3	0,0010757	154,5	0,0010751	154,6	620	0,01644	852,7	0,01568	850,8	0,01498	848,8				
160	0,0010869	164,5	0,0010862	164,6	0,0010856	164,8	630	0,01672	859,4	0,01595	857,5	0,01524	855,6				
170	0,0010981	174,7	0,0010974	174,8	0,0010967	175,0	640	0,01699	866,0	0,01621	864,1	0,01550	862,3				
180	0,0011101	185,0	0,0011093	185,1	0,0011086	185,2											
190	0,0011228	195,4	0,0011220	195,5	0,0011212	195,6	650	0,01726	872,5	0,01648	870,7	0,01575	868,9				
							660	0,01753	879,0	0,01674	877,3	0,01600	875,5				
200	0,0011364	205,8	0,0011356	205,9	0,0011347	206,0	670	0,01780	885,4	0,01699	883,8	0,01625	882,1				
210	0,0011510	216,3	0,0011500	216,4	0,0011491	216,5	680	0,01806	891,8	0,01725	890,2	0,01650	888,6				
220	0,0011666	227,0	0,0011655	227,0	0,0011645	227,1	690	0,01832	898,2	0,01750	896,6	0,01674	895,1				
230	0,0011833	237,7	0,0011822	237,8	0,0011811	237,9											
240	0,0012014	248,6	0,0012001	248,7	0,0011989	248,7	700	0,01858	904,6	0,01775	903,0	0,01698	901,6				
							710	0,01883	910,9	0,01799	909,4	0,01722	908,0				
250	0,0012210	259,7	0,0012196	259,7	0,0012182	259,7	720	0,01908	917,2	0,01824	915,8	0,01746	914,4				
260	0,0012423	270,9	0,0012407	270,9	0,0012391	270,9	730	0,01934	923,6	0,01848	922,2	0,01770	920,8				
270	0,0012657	282,3	0,0012639	282,3	0,0012621	282,3	740	0,01959	929,9	0,01872	928,5	0,01793	927,2				
280	0,0012915	294,0	0,0012894	294,0	0,0012873	293,9											
290	0,0013202	306,0	0,0013177	305,9	0,0013153	305,8	750	0,01984	936,2	0,01896	934,9	0,01816	933,6				
$p=260,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$			$p=270,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$			$p=280,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$			$p=260,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$			$p=270,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$			$p=280,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$		
300	0,0013525	318,4	0,0013496	318,2	0,0013467	318,1	0	0,0009878	6,11	0,0009874	6,34	0,0009869	6,57				
310	0,0013895	331,2	0,0013859	331,0	0,0013823	330,8	10	0,0009886	15,9	0,0009882	16,1	0,0009877	16,3				
320	0,0014324	344,6	0,0014279	344,3	0,0014235	344,0	20	0,0009905	25,7	0,0009901	25,9	0,0009897	26,1				
330	0,0014836	358,8	0,0014777	358,3	0,0014720	357,9	30	0,0009933	35,5	0,0009929	35,7	0,0009925	35,9				
340	0,0015467	374,0	0,0015385	373,4	0,0015308	372,8	40	0,0009969	45,4	0,0009965	45,6	0,0009961	45,8				
350	0,001629	390,7	0,001617	389,8	0,001605	388,9	50	0,0010011	55,2	0,0010007	55,4	0,0010003	55,6				
360	0,001746	410,2	0,001725	408,5	0,001706	407,0	60	0,0010060	65,1	0,0010056	65,2	0,0010052	65,4				
370	0,001974	437,1	0,001912	432,7	0,001867	429,4	70	0,0010114	74,9	0,0010110	75,1	0,0010106	75,3				
380	0,005460	583,9	0,003652	529,2	0,002331	470,0	80	0,0010174	84,8	0,0010170	85,0	0,0010166	85,2				
390	0,006904	624,4	0,006040	607,7	0,005131	586,5	90	0,0010240	94,7	0,0010235	94,9	0,0010231	95,1				
400	0,007826	648,4	0,007082	636,9	0,006360	624,0	100	0,0010310	104,7	0,0010306	104,8	0,0010301	105,0				
410	0,008557	666,7	0,007860	657,7	0,007200	647,9	110	0,0010386	114,6	0,0010382	114,8	0,0010377	115,0				
420	0,009183	682,0	0,008508	674,5	0,007877	666,5	120	0,0010468	124,6	0,0010463	124,8	0,0010458	124,9				
430	0,009739	695,4	0,009076	688,8	0,008459	682,0	130	0,0010555	134,6	0,0010549	134,8	0,0010544	134,9				
440	0,010246	707,4	0,009588	701,6	0,008978	695,6	140	0,0010647	144,7	0,0010641	144,8	0,0010636	145,0				
450	0,01072	718,5	0,01006	713,2	0,009451	707,8											
460	0,01115	728,8	0,01050	724,0	0,009890	719,1											

$t, ^\circ\text{C}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал/кг}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал/кг}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал/кг}$	$t, ^\circ\text{C}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал/кг}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал/кг}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал/кг}$
	$p=260,0 \text{ кгс/см}^2$	$p=270,0 \text{ кгс/см}^2$	$p=280,0 \text{ кгс/см}^2$		$p=260,0 \text{ кгс/см}^2$	$p=270,0 \text{ кгс/см}^2$	$p=280,0 \text{ кгс/см}^2$		$p=260,0 \text{ кгс/см}^2$	$p=270,0 \text{ кгс/см}^2$	$p=280,0 \text{ кгс/см}^2$		$p=260,0 \text{ кгс/см}^2$
150	0,0010745	154,8	0,0010739	154,9	0,0010733	155,1	650	0,01509	867,1	0,01447	865,4	0,01389	863,6
160	0,0010850	164,9	0,0010843	165,1	0,0010837	165,2	660	0,01533	873,8	0,01471	872,1	0,01413	870,4
170	0,0010961	175,1	0,0010954	175,3	0,0010947	175,4	670	0,01557	880,4	0,01494	878,8	0,01436	877,1
180	0,0011079	185,4	0,0011072	185,5	0,0011064	185,6	680	0,01581	887,0	0,01517	885,4	0,01458	883,8
190	0,0011205	195,7	0,0011197	195,8	0,0011189	196,0	690	0,01605	893,5	0,01540	892,0	0,01481	890,4
200	0,0011339	206,1	0,0011330	206,2	0,0011322	206,4	700	0,01628	900,0	0,01563	898,5	0,01503	897,0
210	0,0011482	216,6	0,0011473	216,7	0,0011464	216,8	710	0,01652	906,5	0,01586	905,1	0,01525	903,6
220	0,0011635	227,2	0,0011625	227,3	0,0011615	227,4	720	0,01675	913,0	0,01608	911,6	0,01547	910,2
230	0,0011800	237,9	0,0011788	238,0	0,0011778	238,1	730	0,01697	919,4	0,01630	918,1	0,01568	916,7
240	0,0011977	248,8	0,0011964	248,8	0,0011952	248,9	740	0,01720	925,9	0,01652	924,6	0,01590	923,2
							750	0,01743	932,3	0,01674	931,0	0,01611	929,7
250	0,0012168	259,8	0,0012154	259,8	0,0012141	259,9		$p=290,0 \text{ кгс/см}^2$	$p=300,0 \text{ кгс/см}^2$	$p=310,0 \text{ кгс/см}^2$			
260	0,0012376	270,9	0,0012361	271,0	0,0012345	271,0	0	0,0009864	6,80	0,0009860	7,03	0,0009855	7,26
270	0,0012603	282,3	0,0012585	282,3	0,0012568	282,3	10	0,0009873	16,6	0,0009869	16,8	0,0009864	17,0
280	0,0012852	293,9	0,0012832	293,9	0,0012812	293,8	20	0,0009893	26,3	0,0009889	26,6	0,0009884	26,8
290	0,0013129	305,8	0,0013105	305,7	0,0013082	305,6	30	0,0009921	36,1	0,0009917	36,4	0,0009913	36,6
300	0,0013438	318,0	0,0013410	317,8	0,0013383	317,7	40	0,0009957	46,0	0,0009953	46,2	0,0009949	46,4
310	0,0013789	330,6	0,0013755	330,4	0,0013722	330,2							
320	0,0014192	343,7	0,0014150	343,5	0,0014110	343,2	50	0,0009999	55,8	0,0009995	56,0	0,0009991	56,2
330	0,0014665	357,5	0,0014612	357,2	0,0014561	356,8	60	0,0010048	65,6	0,0010044	65,8	0,0010040	66,0
340	0,0015234	372,2	0,0015164	371,7	0,0015098	371,2	70	0,0010102	75,5	0,0010098	75,7	0,0010094	75,9
350	0,001595	388,0	0,001585	387,3	0,001576	386,5	80	0,0010161	85,4	0,0010157	85,6	0,0010153	85,8
360	0,001689	405,7	0,001674	404,5	0,001660	403,4	90	0,0010226	95,3	0,0010222	95,5	0,0010218	95,7
370	0,001832	426,8	0,001803	424,6	0,001778	422,7							
380	0,002142	458,5	0,002045	452,1	0,001980	447,5	100	0,0010297	105,2	0,0010292	105,4	0,0010288	105,6
390	0,004121	557,0	0,003098	518,6	0,002552	492,6	110	0,0010372	115,1	0,0010367	115,3	0,0010363	115,5
400	0,005650	609,2	0,004941	591,8	0,004235	571,3	120	0,0010453	125,1	0,0010448	125,3	0,0010443	125,4
410	0,006570	637,3	0,005966	625,6	0,005382	612,8	130	0,0010539	135,1	0,0010533	135,3	0,0010528	135,4
420	0,007282	657,9	0,006719	648,9	0,006185	639,2	140	0,0010630	145,1	0,0010625	145,3	0,0010619	145,4
430	0,007881	674,8	0,007339	667,2	0,006829	659,3	150	0,0010727	155,2	0,0010722	155,4	0,0010716	155,5
440	0,008409	689,3	0,007878	682,8	0,007379	676,0	160	0,0010831	165,4	0,0010825	165,5	0,0010818	165,6
450	0,008887	702,2	0,008360	696,5	0,007868	690,6	170	0,0010941	175,5	0,0010934	175,7	0,0010927	175,8
460	0,009327	714,0	0,008802	708,9	0,008313	703,6	180	0,0011057	185,8	0,0011050	185,9	0,0011043	186,0
470	0,009737	724,9	0,009213	720,2	0,008724	715,4	190	0,0011181	196,1	0,0011174	196,2	0,0011166	196,3
480	0,01012	735,2	0,009598	730,8	0,009108	726,5	200	0,0011314	206,5	0,0011305	206,6	0,0011297	206,7
490	0,01049	744,9	0,009963	740,9	0,009471	736,8	210	0,0011455	216,9	0,0011446	217,0	0,0011437	217,1
500	0,01084	754,1	0,01031	750,4	0,009815	746,6	220	0,0011605	227,5	0,0011596	227,6	0,0011586	227,7
510	0,01118	763,0	0,01064	759,5	0,01014	756,0	230	0,0011767	238,2	0,0011756	238,2	0,0011746	238,3
520	0,01151	771,5	0,01096	768,2	0,01046	764,9	240	0,0011940	249,0	0,0011929	249,0	0,0011917	249,1
530	0,01182	779,8	0,01127	776,7	0,01077	773,6	250	0,0012128	259,9	0,0012115	260,0	0,0012101	260,0
540	0,01212	787,8	0,01157	784,9	0,01106	782,0	260	0,0012330	271,0	0,0012316	271,0	0,0012301	271,0
550	0,01242	795,7	0,01187	793,0	0,01135	790,2	270	0,0012551	282,3	0,0012534	282,3	0,0012518	282,3
560	0,01271	803,4	0,01215	800,8	0,01163	798,1	280	0,0012793	293,8	0,0012774	293,8	0,0012755	293,7
570	0,01300	810,9	0,01243	808,4	0,01190	805,9	290	0,0013060	305,5	0,0013037	305,5	0,0013016	305,4
580	0,01327	818,3	0,01270	815,9	0,01217	813,5	300	0,0013356	317,6	0,0013330	317,5	0,0013305	317,4
590	0,01354	825,6	0,01297	823,3	0,01243	821,0	310	0,0013690	330,0	0,0013659	329,9	0,0013628	329,7
600	0,01381	832,8	0,01323	830,6	0,01268	828,4	320	0,0014071	343,0	0,0014033	342,7	0,0013996	342,5
610	0,01408	839,8	0,01348	837,7	0,01293	835,6	330	0,0014512	356,5	0,0014464	356,1	0,0014418	355,8
620	0,01433	846,8	0,01373	844,8	0,01318	842,8	340	0,0015033	370,7	0,0014972	370,3	0,0014913	369,8
630	0,01459	853,6	0,01398	851,7	0,01342	849,8	350	0,001567	385,9	0,001559	385,2	0,001551	384,6
640	0,01484	860,4	0,01423	858,6	0,01366	856,7	360	0,001647	402,4	0,001636	401,4	0,001624	400,6
							370	0,001757	421,0	0,001738	419,5	0,001720	418,2

Продолжение табл. XXVI

$t, ^\circ\text{C}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$	$t, ^\circ\text{C}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$
	$p=290,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$		$p=300,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$		$p=310,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$			$p=320,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$		$p=330,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$		$p=340,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$	
380	0,001931	444,1	0,001892	441,2	0,001860	438,8	80	0,0010149	85,9	0,0010144	86,1	0,0010140	86,3
390	0,002319	479,6	0,002190	471,6	0,002103	466,0	90	0,0010213	95,8	0,0010209	96,0	0,0010204	96,2
400	0,003568	548,2	0,003033	526,2	0,002684	509,6	100	0,0010283	105,7	0,0010278	105,9	0,0010274	106,1
410	0,004820	598,6	0,004283	583,0	0,003789	566,5	110	0,0010358	115,6	0,0010353	115,8	0,0010348	116,0
420	0,005677	628,8	0,005193	617,7	0,004735	605,9	120	0,0010438	125,6	0,0010433	125,8	0,0010428	125,9
430	0,006347	651,0	0,005891	642,2	0,005460	633,1	130	0,0010523	135,6	0,0010518	135,8	0,0010513	135,9
440	0,006911	669,0	0,006470	661,7	0,006034	654,1	140	0,0010614	145,6	0,0010608	145,8	0,0010603	145,9
450	0,007407	684,4	0,006974	678,1	0,006567	671,6	150	0,0010710	155,7	0,0010704	155,8	0,0010698	156,0
460	0,007855	698,1	0,007426	692,5	0,007023	686,8	160	0,0010812	165,8	0,0010806	165,9	0,0010800	166,1
470	0,008267	710,5	0,007839	705,5	0,007438	700,4	170	0,0010921	176,0	0,0010914	176,1	0,0010908	176,2
480	0,008651	722,0	0,008223	717,4	0,007821	712,8	180	0,0011036	186,2	0,0011029	186,3	0,0011022	186,4
490	0,009011	732,7	0,008582	728,5	0,008180	724,2	190	0,0011159	196,4	0,0011151	196,6	0,0011144	196,7
500	0,009353	742,8	0,008922	738,9	0,008518	735,0	200	0,0011289	206,8	0,0011281	206,9	0,0011273	207,0
510	0,009680	752,4	0,009245	748,8	0,008838	745,1	210	0,0011428	217,2	0,0011419	217,4	0,0011410	217,5
520	0,009992	761,6	0,009554	758,2	0,009145	754,8	220	0,0011576	227,8	0,0011567	227,9	0,0011557	228,0
530	0,01029	770,5	0,009852	767,3	0,009439	764,1	230	0,0011735	238,4	0,0011724	238,5	0,0011714	238,6
540	0,01058	779,0	0,01014	776,0	0,009722	773,0	240	0,0011905	249,2	0,0011894	249,2	0,0011882	249,3
550	0,01087	787,4	0,01042	784,5	0,009997	781,7	250	0,0012088	260,0	0,0012076	260,1	0,0012063	260,2
560	0,01114	795,5	0,01069	792,8	0,01026	790,1	260	0,0012287	271,1	0,0012272	271,1	0,0012258	271,2
570	0,01141	803,4	0,01095	800,8	0,01052	798,3	270	0,0012502	282,3	0,0012485	282,3	0,0012470	282,3
580	0,01167	811,1	0,01121	808,7	0,01077	806,2	280	0,0012736	293,7	0,0012718	293,7	0,0012700	293,7
590	0,01192	818,7	0,01146	816,4	0,01102	814,1	290	0,0012994	305,4	0,0012973	305,3	0,0012952	305,3
600	0,01217	826,2	0,01170	824,0	0,01126	821,7	300	0,0013279	317,3	0,0013255	317,2	0,0013230	317,1
610	0,01242	833,5	0,01194	831,4	0,01150	829,2	310	0,0013598	329,6	0,0013569	329,4	0,0013540	329,3
620	0,01266	840,7	0,01218	838,7	0,01173	836,6	320	0,0013959	342,3	0,0013924	342,1	0,0013890	341,9
630	0,01290	847,8	0,01241	845,9	0,01195	843,9	330	0,0014373	355,5	0,0014330	355,2	0,0014288	355,0
640	0,01313	854,8	0,01264	853,0	0,01218	851,1	340	0,0014856	369,4	0,0014801	369,0	0,0014748	368,6
650	0,01336	861,8	0,01286	860,0	0,01240	858,1	350	0,001544	384,0	0,001536	383,5	0,001530	383,0
660	0,01356	868,6	0,01308	866,9	0,01261	865,1	360	0,001614	399,8	0,001604	399,0	0,001595	398,2
670	0,01381	875,4	0,01330	873,7	0,01283	872,1	370	0,001705	417,0	0,001690	415,8	0,001677	414,8
680	0,01403	882,2	0,01352	880,5	0,01304	878,9	380	0,001832	436,8	0,001808	434,9	0,001786	433,3
690	0,01425	888,8	0,01373	887,3	0,01325	885,7	390	0,002039	461,7	0,001989	458,2	0,001948	455,3
700	0,01447	895,5	0,01394	894,0	0,01345	892,5	400	0,002468	498,1	0,002326	490,0	0,002226	483,8
710	0,01468	902,1	0,01415	900,7	0,01366	899,2	410	0,003359	550,3	0,003017	535,6	0,002763	523,6
720	0,01489	908,7	0,01436	907,3	0,01386	905,9	420	0,004307	593,5	0,003913	580,7	0,003563	568,1
730	0,01510	915,3	0,01456	914,0	0,01406	912,6	430	0,005054	623,4	0,004672	613,5	0,004317	603,2
740	0,01531	921,9	0,01476	920,6	0,01426	919,2	440	0,005662	646,2	0,005294	638,1	0,004947	629,7
750	0,01552	928,4	0,01497	927,1	0,01445	925,8	450	0,006183	664,9	0,005822	658,0	0,005482	650,9
	$p=320,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$		$p=330,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$		$p=340 \text{ кгс}/\text{см}^2$		460	0,006644	680,9	0,006287	674,9	0,005951	668,8
0	0,0009851	7,49	0,0009846	7,71	0,0009842	7,95	470	0,007061	695,1	0,006706	689,8	0,006372	684,4
10	0,0009860	17,2	0,0009856	17,4	0,0009852	17,7	480	0,007444	708,0	0,007090	703,2	0,006756	698,3
20	0,0009880	27,0	0,0009876	27,2	0,0009872	27,4	490	0,007802	719,9	0,007447	715,5	0,007113	711,0
30	0,0009909	36,8	0,0009905	37,0	0,0009901	37,2	500	0,008138	731,0	0,007782	726,9	0,007446	722,8
40	0,0009945	46,6	0,0009941	46,8	0,0009937	47,0	510	0,008457	741,4	0,008098	737,7	0,007761	733,9
50	0,0009987	56,4	0,0009983	56,6	0,0009979	56,8	520	0,008760	751,4	0,008399	747,9	0,008060	744,4
60	0,0010035	66,2	0,0010031	66,4	0,0010027	66,6	530	0,009052	760,9	0,008688	757,6	0,008345	754,3
70	0,0010089	76,1	0,0010085	76,3	0,0010081	76,5	540	0,009332	770,0	0,008964	766,9	0,008619	763,8

Продолжение табл. XXVI

$t, ^\circ\text{C}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$	$t, ^\circ\text{C}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$			
	$p=320,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$			$p=330,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$				$p=350,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$			$p=360,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$			$p=370,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$		
550	0,009602	778,8	0,009232	775,9	0,008883	773,0	250	0,0012051	260,2	0,0012038	260,2	0,0012026	260,3			
560	0,009865	787,4	0,009490	784,6	0,009138	781,9	260	0,0012244	271,2	0,0012230	271,2	0,0012217	271,3			
570	0,010119	795,7	0,009741	793,1	0,009386	790,5	270	0,0012454	282,3	0,0012438	282,3	0,0012423	282,4			
580	0,01037	803,8	0,009985	801,3	0,009626	798,8	280	0,0012682	293,7	0,0012664	293,7	0,0012647	293,7			
590	0,01061	811,7	0,01022	809,4	0,009861	807,0	290	0,0012931	305,2	0,0012911	305,2	0,0012891	305,2			
600	0,01085	819,5	0,01046	817,2	0,01009	815,0	300	0,0013206	317,0	0,0013183	317,0	0,0013160	316,9			
610	0,01108	827,1	0,01068	825,0	0,01031	822,8	310	0,0013512	329,2	0,0013485	329,1	0,0013458	329,0			
620	0,01130	834,6	0,01091	832,5	0,01053	830,5	320	0,0013856	341,7	0,0013823	341,5	0,0013791	341,4			
630	0,01153	842,0	0,01112	840,0	0,01075	838,0	330	0,0014247	354,7	0,0014207	354,5	0,0014168	354,2			
640	0,01175	849,2	0,01134	847,3	0,01096	845,4	340	0,0014697	368,3	0,0014647	367,9	0,0014599	367,6			
650	0,01196	856,3	0,01155	854,5	0,01116	852,7	350	0,001523	382,5	0,001517	382,0	0,001511	381,5			
660	0,01217	863,4	0,01176	861,6	0,01137	859,9	360	0,001586	397,6	0,001578	396,9	0,001570	396,3			
670	0,01238	870,4	0,01196	868,7	0,01157	867,0	370	0,001665	413,8	0,001653	412,9	0,001642	412,0			
680	0,01259	877,3	0,01216	875,7	0,01177	874,0	380	0,001767	431,8	0,001750	430,4	0,001734	429,2			
690	0,01279	884,2	0,01236	882,6	0,01196	881,0	390	0,001914	452,8	0,001884	450,5	0,001858	448,6			
700	0,01299	891,0	0,01256	889,4	0,01216	887,9	400	0,002150	479,0	0,002090	475,0	0,002041	471,6			
710	0,01319	897,7	0,01276	896,3	0,01235	894,8	410	0,002577	514,0	0,002440	506,5	0,002336	500,4			
720	0,01339	904,5	0,01295	903,1	0,01254	901,6	420	0,003262	556,1	0,003014	545,3	0,002815	535,9			
730	0,01358	911,2	0,01314	909,8	0,01272	908,4	430	0,003991	592,9	0,003696	582,6	0,003435	572,7			
740	0,01378	917,9	0,01333	916,6	0,01290	915,2	440	0,004623	621,2	0,004321	612,5	0,004044	603,8			
750	0,01397	924,6	0,01352	923,3	0,01309	922,0	450	0,005162	643,7	0,004863	636,3	0,004582	628,9			
0	0,0009337	8,18	0,0009833	8,4	0,0009828	8,63	460	0,005635	662,5	0,005337	656,1	0,005057	649,7			
10	0,0009847	17,9	0,0009843	18,1	0,0009839	18,3	470	0,006057	678,8	0,005760	673,2	0,005481	667,5			
20	0,0009869	27,6	0,0009874	27,8	0,0009860	28,0	480	0,006442	693,3	0,006146	688,3	0,005833	683,2			
30	0,0009897	37,4	0,0009893	37,6	0,0009889	37,8	490	0,006793	706,5	0,006501	702,0	0,006220	697,4			
40	0,0009933	47,2	0,0009929	47,4	0,0009925	47,6	500	0,007130	718,7	0,006832	714,5	0,006550	710,3			
50	0,0009975	57,0	0,0009971	57,2	0,0009967	57,4	510	0,007443	730,1	0,007143	726,2	0,006859	722,3			
60	0,0010023	66,8	0,0010019	67,0	0,0010015	67,2	520	0,007740	740,8	0,007437	737,2	0,007152	733,6			
70	0,0010077	76,6	0,0010073	76,8	0,0010069	77,0	530	0,008023	751,0	0,007718	747,7	0,007430	744,3			
80	0,0010136	86,5	0,0010132	86,7	0,0010128	86,9	540	0,008294	760,7	0,007987	757,6	0,007696	754,5			
90	0,0010200	96,4	0,0010196	96,6	0,0010192	96,7	550	0,008555	770,1	0,008245	767,1	0,007952	764,2			
100	0,0010269	106,3	0,0010265	106,4	0,0010260	106,6	560	0,008807	779,1	0,008494	776,3	0,008198	773,5			
110	0,0010344	116,2	0,0010339	116,3	0,0010334	116,5	570	0,009051	787,8	0,008735	785,2	0,008437	782,6			
120	0,0010423	126,1	0,0010418	126,3	0,0010413	126,4	580	0,009288	796,3	0,008969	793,8	0,008668	791,3			
130	0,0010508	136,1	0,0010502	136,2	0,0010497	136,4	590	0,009519	804,6	0,009197	802,2	0,008892	799,8			
140	0,0010597	146,1	0,0010592	146,2	0,0010587	146,4	600	0,009745	812,7	0,009419	810,4	0,009111	808,2			
150	0,0010693	156,1	0,0010687	156,3	0,0010681	156,4	610	0,009965	820,6	0,009636	818,5	0,009325	816,3			
160	0,0010794	166,2	0,0010788	166,4	0,0010782	166,5	620	0,01018	828,4	0,009848	826,3	0,009534	824,2			
170	0,0010901	176,4	0,0010895	176,5	0,0010889	176,6	630	0,01039	836,0	0,01006	834,0	0,009738	832,0			
180	0,0011015	186,6	0,0011008	186,7	0,0011002	186,8	640	0,01060	843,5	0,01026	841,6	0,009938	839,7			
190	0,0011136	196,8	0,0011129	197,0	0,0011122	197,1	650	0,01080	850,9	0,01046	849,0	0,01014	847,2			
200	0,0011265	207,2	0,0011257	207,3	0,0011249	207,4	660	0,01100	858,1	0,01066	856,4	0,01033	854,6			
210	0,0011402	217,6	0,0011393	217,7	0,0011385	217,8	670	0,01120	865,3	0,01085	863,6	0,01052	861,9			
220	0,0011540	228,1	0,0011539	228,2	0,0011529	228,3	680	0,01139	872,4	0,01104	870,8	0,01070	869,1			
230	0,0011704	238,7	0,0011694	238,7	0,0011684	238,8	690	0,01158	879,4	0,01123	877,9	0,01089	876,3			
240	0,0011871	249,4	0,0011860	249,4	0,0011849	249,5										

Продолжение табл. XXVI

$t, ^\circ\text{C}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$	$t, ^\circ\text{C}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$
	$p=350,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$		$p=360,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$		$p=370,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$			$p=380,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$		$p=390,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$		$p=400,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$	
700	0,01177	886,4	0,01141	884,9	0,01107	883,4	350	0,001505	381,1	0,001499	380,7	0,001494	380,3
710	0,01196	893,3	0,01160	891,9	0,01125	890,4	360	0,001562	395,7	0,001555	395,2	0,001548	394,6
720	0,01214	900,2	0,01178	898,8	0,01143	897,4	370	0,001632	411,2	0,001622	410,5	0,001613	409,8
730	0,01233	907,1	0,01196	905,7	0,01160	904,3	380	0,001719	428,0	0,001705	427,0	0,001693	426,0
740	0,01251	913,9	0,01213	912,6	0,01178	911,2	390	0,001834	446,8	0,001813	445,2	0,001794	443,8
750	0,01269	920,7	0,01231	919,4	0,01195	918,1	400	0,001999	468,7	0,001964	466,2	0,001933	463,9
	$p=380,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$		$p=390,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$		$p=400,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$		410	0,002254	495,4	0,002188	491,1	0,002132	487,5
0	0,0009824	8,86	0,0009819	9,1	0,0009815	9,3	420	0,002657	527,9	0,002532	521,2	0,002430	515,5
10	0,0009835	18,5	0,0009830	18,8	0,0009826	19,0	430	0,003208	563,4	0,003015	554,9	0,002853	547,3
20	0,0009856	28,3	0,0009852	28,5	0,0009848	28,7	440	0,003790	595,2	0,003560	586,9	0,003356	578,8
30	0,0009885	38,0	0,0009881	38,2	0,0009877	38,4	450	0,004322	621,4	0,004080	614,0	0,003857	606,6
40	0,0009921	47,8	0,0009917	48,0	0,0009913	48,2	460	0,004794	643,2	0,004548	636,6	0,004319	630,1
50	0,0009964	57,6	0,0009960	57,8	0,0009956	58,0	470	0,005218	661,7	0,004970	655,9	0,004737	650,1
60	0,0010012	67,4	0,0010008	67,6	0,0010004	67,8	480	0,005602	678,1	0,005353	672,9	0,005118	667,6
70	0,0010065	77,2	0,0010061	77,4	0,0010057	77,6	490	0,005955	692,7	0,005705	688,0	0,005469	683,3
80	0,0010124	87,1	0,0010119	87,2	0,0010115	87,4	500	0,006284	706,1	0,006032	701,8	0,005794	697,4
90	0,0010187	96,9	0,0010183	97,1	0,0010179	97,3	510	0,006591	718,4	0,006338	714,5	0,006098	710,5
100	0,0010256	106,7	0,0010252	107,0	0,0010247	107,1	520	0,006882	730,0	0,006626	726,3	0,006384	722,7
110	0,0010329	116,6	0,0010325	116,9	0,0010320	117,0	530	0,007158	740,9	0,006900	737,5	0,006656	734,1
120	0,0010408	126,6	0,0010404	126,8	0,0010399	127,0	540	0,007422	751,3	0,007162	748,1	0,006915	744,9
130	0,0010492	136,5	0,0010487	136,7	0,0010482	136,9	550	0,007675	761,2	0,007412	758,2	0,007164	755,2
140	0,0010581	146,5	0,0010576	146,7	0,0010571	146,9	560	0,007919	770,7	0,007654	767,9	0,007402	765,1
150	0,0010675	156,5	0,0010670	156,7	0,0010665	156,9	570	0,008154	779,9	0,007887	777,2	0,007633	774,6
160	0,0010776	166,6	0,0010770	166,8	0,0010764	167,0	580	0,008382	788,8	0,008112	786,3	0,007855	783,7
170	0,0010882	176,7	0,0010876	176,9	0,0010870	177,1	590	0,008604	797,4	0,008331	795,0	0,008072	792,6
180	0,0010994	186,9	0,0010988	187,1	0,0010981	187,2	600	0,008820	805,9	0,008544	803,6	0,008282	801,3
190	0,0011114	197,2	0,0011107	197,3	0,0011100	197,5	610	0,009031	814,1	0,008752	811,9	0,008487	809,7
200	0,0011241	207,5	0,0011234	207,6	0,0011226	207,8	620	0,009236	822,1	0,008954	820,0	0,008687	817,9
210	0,0011376	217,9	0,0011368	218,0	0,0011360	218,1	630	0,009438	830,0	0,009153	828,0	0,008882	826,0
220	0,0011520	228,4	0,0011511	228,4	0,0011502	228,5	640	0,009635	837,8	0,009347	835,8	0,009074	833,9
230	0,0011674	238,9	0,0011664	239,0	0,0011654	239,1	650	0,009828	845,3	0,009538	843,5	0,009262	841,7
240	0,0011838	249,6	0,0011827	249,7	0,0011816	249,7	660	0,01002	852,8	0,009725	851,1	0,009446	849,3
250	0,0012014	260,4	0,0012002	260,4	0,0011990	260,5	670	0,01021	860,2	0,009908	858,5	0,009626	856,8
260	0,0012203	271,3	0,0012190	271,3	0,0012176	271,4	680	0,01039	867,5	0,01009	865,8	0,009804	864,2
270	0,0012408	282,4	0,0012393	282,4	0,0012378	282,4	690	0,01057	874,7	0,01027	873,1	0,009979	871,5
280	0,0012630	293,6	0,0012613	293,6	0,0012596	293,6	700	0,01075	881,8	0,01044	880,3	0,01015	878,8
290	0,0012872	305,1	0,0012852	305,1	0,0012833	305,0	710	0,01092	888,9	0,01062	887,4	0,01032	886,0
300	0,0013137	316,8	0,0013115	316,8	0,0013093	316,7	720	0,01110	895,9	0,01079	894,5	0,01049	893,1
310	0,0013431	328,8	0,0013405	328,7	0,0013380	328,6	730	0,01127	902,9	0,01096	901,6	0,01066	900,2
320	0,0013759	341,2	0,0013728	341,0	0,0013698	340,9	740	0,01144	909,9	0,01112	908,5	0,01082	907,2
330	0,0014130	353,9	0,0014093	353,7	0,0014057	353,5	750	0,01161	916,8	0,01129	915,5	0,01098	914,2
340	0,0014553	367,3	0,0014508	367,0	0,0014474	366,7							

**УДЕЛЬНЫЕ ОБЪЕМЫ И ЭНТАЛЬПИИ В КРИТИЧЕСКОЙ
И ОКОЛОКРИТИЧЕСКОЙ ОБЛАСТЯХ**

Таблица XXVII

$t, ^\circ\text{C}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$	$t, ^\circ\text{C}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$
	$p=230 \text{ кгс}/\text{см}^2$		$p=232 \text{ кгс}/\text{см}^2$		$p=234 \text{ кгс}/\text{см}^2$			$p=236 \text{ кгс}/\text{см}^2$		$p=238 \text{ кгс}/\text{см}^2$		$p=240 \text{ кгс}/\text{см}^2$	
350	0,001629	390,7	0,001626	390,5	0,001624	390,3	360	0,001733	409,2	0,001729	408,8	0,001725	408,5
352	0,001648	394,4	0,001646	394,1	0,001643	393,9	362	0,001762	413,5	0,001758	413,1	0,001753	412,7
354	0,001670	398,1	0,001667	397,8	0,001664	397,6	364	0,001795	418,0	0,001790	417,6	0,001784	417,2
356	0,001693	401,9	0,001689	401,7	0,001686	401,4	366	0,001834	422,9	0,001827	422,4	0,001820	422,0
358	0,001718	406,0	0,001714	405,7	0,001710	405,4	368	0,001879	428,3	0,001870	427,7	0,001862	427,0
360	0,001746	410,2	0,001742	409,8	0,001737	409,5	370	0,001934	434,3	0,001922	433,5	0,001912	432,7
362	0,001778	414,7	0,001772	414,2	0,001767	413,8	372	0,002005	441,3	0,001989	440,2	0,001974	439,2
364	0,001814	419,4	0,001807	418,9	0,001801	418,5	374	0,002107	450,1	0,002080	448,4	0,002058	446,9
366	0,001856	424,6	0,001848	424,0	0,001841	423,5	376	0,002284	463,0	0,002227	459,6	0,002183	457,0
368	0,001908	430,4	0,001897	429,7	0,001888	429,0	378	0,003205	509,1	0,002618	482,9	0,002440	473,8
370	0,001974	437,1	0,001959	436,1	0,001946	435,2	380	0,004564	559,6	0,004166	547,1	0,003652	529,2
372	0,002066	445,4	0,002043	443,9	0,002023	442,5	382	0,005127	577,7	0,004857	570,4	0,004561	561,8
374	0,002226	457,4	0,002176	454,4	0,002138	452,0	384	0,005529	589,9	0,005305	584,5	0,005071	578,4
376	0,003778	528,3	0,002544	476,8	0,002371	467,8	386	0,005857	599,6	0,005657	595,1	0,005452	590,2
378	0,004943	568,2	0,004563	557,2	0,004058	541,0	388	0,006138	607,7	0,005954	603,8	0,005767	599,7
380	0,005460	583,9	0,005191	577,1	0,004897	569,2	390	0,006388	614,8	0,006215	611,3	0,006040	607,7
382	0,005843	595,0	0,005616	589,8	0,005378	584,1	392	0,006615	621,1	0,006450	618,0	0,006284	614,7
384	0,006159	604,0	0,005955	599,6	0,005746	595,0	394	0,006825	626,8	0,006665	624,0	0,006506	621,0
386	0,006434	611,6	0,006245	607,8	0,006052	603,8	396	0,007020	632,1	0,006865	629,5	0,006711	626,7
388	0,006680	618,3	0,006501	614,9	0,006320	611,4	398	0,007203	637,1	0,007052	634,6	0,006902	632,0
390	0,006904	624,4	0,006733	621,3	0,006561	618,1	400	0,007376	641,7	0,007228	639,3	0,007082	636,9
392	0,007112	629,9	0,006946	627,0	0,006781	624,1	402	0,007541	646,0	0,007396	643,8	0,007252	641,5
394	0,007306	635,0	0,007145	632,3	0,006985	629,6	404	0,007698	650,1	0,007555	648,0	0,007414	645,9
396	0,007488	639,7	0,007331	637,3	0,007175	634,7	406	0,007849	654,1	0,007708	652,1	0,007569	650,0
398	0,007661	644,2	0,007507	641,9	0,007355	639,5	408	0,007994	657,8	0,007855	655,9	0,007717	653,9
400	0,007826	648,4	0,007675	646,2	0,007525	644,0	410	0,008134	661,4	0,007996	659,6	0,007860	657,7
402	0,007984	652,4	0,007835	650,3	0,007687	648,2	412	0,008270	664,9	0,008133	663,1	0,007998	661,3
404	0,008135	656,2	0,007988	654,2	0,007842	652,2	414	0,008401	668,2	0,008265	666,5	0,008132	664,8
406	0,008280	659,9	0,008135	658,0	0,007991	656,0	416	0,008528	671,4	0,008394	669,8	0,008261	668,1
408	0,008421	663,4	0,008277	661,5	0,008135	659,7	418	0,008652	674,5	0,008518	672,9	0,008386	671,3
410	0,008557	666,7	0,008415	665,0	0,008274	663,2	420	0,008773	677,6	0,008640	676,0	0,008508	674,5
412	0,008689	670,0	0,008548	668,3	0,008408	666,6	422	0,008890	680,5	0,008758	679,0	0,008627	677,5
414	0,008818	673,2	0,008677	671,5	0,008538	669,9	424	0,009005	683,4	0,008874	681,9	0,008744	680,5
416	0,008942	676,2	0,008803	674,6	0,008665	673,0	426	0,009118	686,1	0,008986	684,7	0,008857	683,3
418	0,009064	679,2	0,008925	677,6	0,008788	676,1	428	0,009228	688,9	0,009097	687,5	0,008968	686,1
420	0,009183	682,1	0,009044	680,6	0,008908	679,1	430	0,009336	691,5	0,009205	690,2	0,009076	688,8
422	0,009299	684,9	0,009161	683,4	0,009025	682,0	432	0,009441	694,1	0,009311	692,8	0,009182	691,5
424	0,009412	687,6	0,009275	686,2	0,009139	684,8	434	0,009545	696,6	0,009415	695,4	0,009287	694,1
426	0,009523	690,3	0,009386	688,9	0,009251	687,5	436	0,009646	699,1	0,009517	697,9	0,009389	696,7
428	0,009632	692,9	0,009496	691,5	0,009361	690,2	438	0,009747	701,6	0,009617	700,4	0,009489	699,2
430	0,009739	695,4	0,009602	694,1	0,009468	692,8	440	0,009845	704,0	0,009716	702,8	0,009588	701,6
432	0,009844	697,9	0,009708	696,7	0,009573	695,4	442	0,009942	706,3	0,009813	705,2	0,009685	704,0
434	0,009947	700,4	0,009811	699,1	0,009677	697,9	444	0,01004	708,6	0,009908	707,5	0,009781	706,4
436	0,01005	702,8	0,009912	701,6	0,009779	700,4	446	0,01013	710,9	0,01000	709,8	0,009875	708,7
438	0,01015	705,1	0,01001	704,0	0,009878	702,8	448	0,01022	713,1	0,01009	712,1	0,009968	711,0
440	0,01025	707,4	0,01011	706,3	0,009977	705,1	450	0,01032	715,3	0,01019	714,3	0,01006	713,2
442	0,01034	709,7	0,01021	708,6	0,01007	707,5							
444	0,01044	712,0	0,01030	710,9	0,01017	709,8		$p=242 \text{ кгс}/\text{см}^2$		$p=244 \text{ кгс}/\text{см}^2$		$p=246 \text{ кгс}/\text{см}^2$	
446	0,01053	714,2	0,01040	713,1	0,01026	712,0	350	0,001614	389,6	0,001612	389,4	0,001610	389,2
448	0,01062	716,3	0,01049	715,3	0,01035	714,2	352	0,001633	393,1	0,001630	392,9	0,001628	392,7
450	0,01072	718,5	0,01058	717,4	0,01045	716,4	354	0,001652	396,7	0,001649	396,5	0,001647	396,2
	$p=236 \text{ кгс}/\text{см}^2$		$p=238 \text{ кгс}/\text{см}^2$		$p=240 \text{ кгс}/\text{см}^2$		356	0,001673	400,4	0,001670	400,1	0,001667	399,9
							358	0,001696	404,2	0,001693	403,9	0,001689	403,7
350	0,001621	390,2	0,001619	390,0	0,001617	389,8	360	0,001721	408,2	0,001717	407,9	0,001713	407,6
352	0,001640	393,7	0,001638	393,5	0,001635	393,3	362	0,001748	412,4	0,001744	412,0	0,001740	411,7
354	0,001661	397,4	0,001658	397,1	0,001655	396,9	364	0,001779	416,8	0,001774	416,4	0,001769	416,0
356	0,001683	401,1	0,001679	400,9	0,001676	400,6	366	0,001814	421,4	0,001808	421,0	0,001802	420,5
358	0,001707	405,1	0,001703	404,8	0,001699	404,5	368	0,001854	426,5	0,001847	425,9	0,001839	425,4

Продолжение табл. XXVII

$t, ^\circ\text{C}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал/кг}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал/кг}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал/кг}$	$t, ^\circ\text{C}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал/кг}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал/кг}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал/кг}$
	$p=242 \text{ кгс/см}^2$		$p=244 \text{ кгс/см}^2$		$p=246 \text{ кгс/см}^2$			$p=248 \text{ кгс/см}^2$		$p=250 \text{ кгс/см}^2$		$p=252 \text{ кгс/см}^2$	
370	0,001902	432,0	0,001892	431,3	0,001884	430,7	380	0,002402	474,0	0,002331	470,0	0,002278	466,8
372	0,001961	438,2	0,001948	437,4	0,001937	436,5	382	0,002987	504,8	0,002720	492,5	0,002561	484,6
374	0,002038	445,6	0,002020	444,4	0,002004	443,2	384	0,003951	544,6	0,003607	532,3	0,003259	518,7
376	0,002148	454,8	0,002119	452,9	0,002094	451,3	386	0,004551	566,1	0,004296	558,2	0,004025	549,4
378	0,002344	468,5	0,002279	464,8	0,002230	461,9	388	0,004978	580,3	0,004766	574,5	0,004546	568,1
380	0,003041	504,8	0,002676	488,1	0,002509	479,4	390	0,005319	591,2	0,005132	586,5	0,004939	581,4
382	0,004227	551,5	0,003841	538,5	0,003398	522,0	392	0,005610	600,2	0,005437	596,2	0,005263	591,9
384	0,004822	571,6	0,004556	564,0	0,004268	555,1	394	0,005865	608,0	0,005704	604,4	0,005541	600,7
386	0,005241	585,0	0,005021	579,3	0,004792	573,0	396	0,006096	614,9	0,005942	611,6	0,005788	608,3
388	0,005577	595,3	0,005382	590,7	0,005183	585,7	398	0,006307	621,1	0,006159	618,1	0,006012	615,1
390	0,005863	603,9	0,005685	599,9	0,005504	595,7	400	0,006503	626,7	0,006360	624,0	0,006218	621,2
392	0,006117	611,3	0,005949	607,8	0,005780	604,1	402	0,006687	632,0	0,006547	629,5	0,006409	626,9
394	0,006346	617,9	0,006186	614,7	0,006026	611,4	404	0,006860	636,9	0,006723	634,5	0,006588	632,1
396	0,006557	623,9	0,006403	621,0	0,006250	618,0	406	0,007024	641,5	0,006890	639,2	0,006758	637,0
398	0,006753	629,4	0,006604	626,7	0,006455	623,9	408	0,007180	645,8	0,007049	643,7	0,006919	641,5
400	0,006936	634,5	0,006791	632,0	0,006647	629,4	410	0,007330	650,0	0,007200	647,9	0,007072	645,9
402	0,007109	639,2	0,006967	636,9	0,006827	634,5	412	0,007473	653,9	0,007345	652,0	0,007219	650,0
404	0,007274	643,7	0,007135	641,5	0,006997	639,2	414	0,007612	657,7	0,007485	655,8	0,007360	653,9
406	0,007431	647,9	0,007294	645,8	0,007158	643,7	416	0,007745	661,3	0,007620	659,5	0,007496	657,7
408	0,007581	652,0	0,007446	650,0	0,007312	647,9	418	0,007875	664,7	0,007750	663,0	0,007628	661,3
410	0,007725	655,8	0,007592	653,9	0,007460	651,9	420	0,008000	668,1	0,007877	666,5	0,007755	664,8
412	0,007865	659,5	0,007733	657,7	0,007602	655,8	422	0,008122	671,3	0,007999	669,8	0,007878	668,2
414	0,007999	663,0	0,007869	661,3	0,007739	659,5	424	0,008240	674,5	0,008119	672,9	0,007998	671,4
416	0,008129	666,4	0,008000	664,7	0,007872	663,0	426	0,008356	677,5	0,008235	676,0	0,008115	674,5
418	0,008256	669,7	0,008127	668,1	0,008000	666,4	428	0,008469	680,5	0,008348	679,1	0,008229	677,6
420	0,008379	672,9	0,008251	671,3	0,008125	669,7	430	0,008579	683,4	0,008459	682,0	0,008340	680,6
422	0,008499	676,0	0,008371	674,5	0,008246	672,9	432	0,008687	686,2	0,008567	684,8	0,008449	683,5
424	0,008615	679,0	0,008489	677,5	0,008364	676,0	434	0,008792	688,9	0,008673	687,6	0,008555	686,3
426	0,008729	681,9	0,008603	680,5	0,008479	679,0	436	0,008895	691,6	0,008776	690,3	0,008659	689,0
428	0,008840	684,7	0,008715	683,3	0,008591	681,9	438	0,008997	694,2	0,008878	693,0	0,008761	691,7
430	0,008949	687,5	0,008824	686,1	0,008701	684,8	440	0,009096	696,8	0,008978	695,6	0,008861	694,3
432	0,009056	690,2	0,008931	688,9	0,008808	687,5	442	0,009194	699,3	0,009076	698,1	0,008959	696,9
434	0,009160	692,8	0,009036	691,5	0,008913	690,2	444	0,009290	701,8	0,009172	700,6	0,009055	699,4
436	0,009263	695,4	0,009139	694,2	0,009016	692,9	446	0,009385	704,2	0,009267	703,1	0,009150	701,9
438	0,009364	697,9	0,009240	696,7	0,009117	695,5	448	0,009478	706,6	0,009360	705,5	0,009243	704,3
440	0,009462	700,4	0,009339	699,2	0,009217	698,0	450	0,009569	708,9	0,009451	707,8	0,009335	706,7
442	0,009560	702,9	0,009436	701,7	0,009314	700,5							
444	0,009655	705,2	0,009532	704,1	0,009410	702,9		$p=254 \text{ кгс/см}^2$		$p=256 \text{ кгс/см}^2$		$p=258 \text{ кгс/см}^2$	
446	0,009750	707,6	0,009626	706,5	0,009505	705,3	350	0,001601	388,5	0,001599	388,4	0,001597	388,2
448	0,009842	709,9	0,009719	708,8	0,009597	707,7	352	0,001618	391,9	0,001616	391,8	0,001614	391,6
450	0,009934	712,2	0,009810	711,1	0,009689	710,0	354	0,001636	395,4	0,001634	395,2	0,001631	395,0
							356	0,001656	399,0	0,001653	398,8	0,001650	398,6
							358	0,001677	402,7	0,001674	402,4	0,001671	402,2
	$p=248 \text{ кгс/см}^2$		$p=250 \text{ кгс/см}^2$		$p=252 \text{ кгс/см}^2$		360	0,001699	406,5	0,001696	406,2	0,001692	406,0
350	0,001608	389,1	0,001605	388,9	0,001603	388,7	362	0,001724	410,4	0,001720	410,1	0,001716	409,8
352	0,001625	392,5	0,001623	392,3	0,001620	392,1	364	0,001750	414,5	0,001746	414,2	0,001742	413,9
354	0,001644	396,0	0,001641	395,8	0,001639	395,6	366	0,001780	418,9	0,001775	418,5	0,001771	418,1
356	0,001664	399,7	0,001661	399,4	0,001659	399,2	368	0,001814	423,4	0,001808	423,0	0,001802	422,6
358	0,001686	403,4	0,001683	404,2	0,001680	402,9	370	0,001852	428,3	0,001845	427,8	0,001839	427,3
360	0,001710	407,3	0,001706	407,0	0,001703	406,8	372	0,001897	433,7	0,001888	433,0	0,001880	432,4
362	0,001735	411,4	0,001731	411,0	0,001727	410,7	374	0,001951	439,5	0,001940	438,8	0,001929	438,0
364	0,001764	415,6	0,001759	415,2	0,001755	414,9	376	0,002018	446,2	0,002003	445,2	0,001989	444,3
366	0,001796	420,1	0,001791	419,7	0,001785	419,3	378	0,002107	454,2	0,002085	452,8	0,002066	451,5
368	0,001833	424,9	0,001826	424,4	0,001820	423,9	380	0,002235	464,3	0,002199	462,1	0,002169	460,2
370	0,001875	430,0	0,001867	429,4	0,001860	428,9	382	0,002457	479,1	0,002383	475,0	0,002325	471,7
372	0,001926	435,8	0,001916	435,0	0,001906	434,3	384	0,002964	506,1	0,002753	496,3	0,002610	489,2
374	0,001989	442,2	0,001975	441,3	0,001963	440,4	386	0,003741	539,5	0,003451	528,6	0,003180	517,7
376	0,002072	449,9	0,002052	448,5	0,002034	447,3	388	0,004317	561,1	0,004080	553,5	0,003835	545,1
378	0,002191	459,5	0,002159	457,5	0,002131	455,8							

$t, ^\circ\text{C}$	$\nu, \text{м/кг}$	$I, \text{ккал/кг}$	$\nu, \text{м/кг}$	$I, \text{ккал/кг}$	$\nu, \text{м/кг}$	$I, \text{ккал/кг}$	$t, ^\circ\text{C}$	$\nu, \text{м/кг}$	$I, \text{ккал/кг}$	$\nu, \text{м/кг}$	$I, \text{ккал/кг}$	$\nu, \text{м/кг}$	$I, \text{ккал/кг}$
	$p=254 \text{ кгс/см}^2$		$p=256 \text{ кгс/см}^2$		$p=258 \text{ кгс/см}^2$			$p=260 \text{ кгс/см}^2$		$p=262 \text{ кгс/см}^2$		$p=264 \text{ кгс/см}^2$	
390	0,004743	576,0	0,004540	570,1	0,004333	563,8	400	0,006560	609,2	0,005508	606,0	0,005367	602,6
392	0,005085	587,4	0,004905	582,6	0,004722	577,5	402	0,006860	618,8	0,005724	612,8	0,005588	609,8
394	0,005377	596,8	0,005211	592,7	0,005044	588,4	404	0,006953	621,8	0,005923	619,1	0,005792	616,3
396	0,005633	604,8	0,005478	601,2	0,005322	597,5	406	0,006937	627,3	0,006109	624,8	0,005981	622,7
398	0,005864	612,0	0,005716	608,4	0,005563	605,4	408	0,006908	632,5	0,006283	630,1	0,006139	627,2
400	0,006075	618,4	0,005933	615,4	0,005792	612,4	410	0,006570	637,3	0,006448	635,1	0,006336	632,8
402	0,006271	624,2	0,006134	621,5	0,005997	618,7	412	0,006723	641,9	0,006604	639,7	0,006485	637,6
404	0,006454	629,6	0,006320	627,1	0,006187	624,5	414	0,006873	646,2	0,006754	644,1	0,006636	642,1
406	0,006626	634,6	0,006496	632,2	0,006366	629,8	416	0,007014	650,3	0,006897	648,3	0,006781	646,4
408	0,006789	639,3	0,006661	637,1	0,006534	634,8	418	0,007130	654,2	0,007034	652,3	0,006933	650,5
410	0,006945	643,8	0,006819	641,7	0,006694	639,5	420	0,007282	657,9	0,007167	656,2	0,007053	654,4
412	0,007094	648,0	0,006970	646,0	0,006847	643,9	422	0,007409	661,6	0,007295	659,9	0,007182	658,1
414	0,007236	652,0	0,007114	650,1	0,006993	648,2	424	0,007532	665,0	0,007419	663,4	0,007307	661,7
416	0,007374	655,9	0,007252	654,0	0,007133	652,2	426	0,007652	668,4	0,007539	666,8	0,007428	665,2
418	0,007506	659,6	0,007386	657,8	0,007268	656,0	428	0,007768	671,6	0,007656	670,1	0,007546	668,6
420	0,007635	663,1	0,007516	661,4	0,007393	659,7	430	0,007881	674,8	0,007770	673,5	0,007660	671,8
422	0,007759	666,5	0,007641	664,9	0,007524	663,2	432	0,007992	677,9	0,007881	676,4	0,007772	675,0
424	0,007880	670,0	0,007762	668,2	0,007647	666,5	434	0,008100	680,8	0,007989	679,4	0,007881	678,0
426	0,007997	673,0	0,007881	671,5	0,007765	670,0	436	0,008205	683,7	0,008095	682,4	0,007987	681,0
428	0,008112	676,1	0,007996	674,6	0,007881	673,2	438	0,008308	686,6	0,008199	685,2	0,008091	683,9
430	0,008223	679,1	0,008108	677,7	0,007994	676,3	440	0,008409	689,3	0,008300	688,0	0,008192	686,7
432	0,008332	682,1	0,008217	680,7	0,008104	679,3	442	0,008508	692,0	0,008399	690,8	0,008292	689,5
434	0,008439	684,9	0,008324	683,6	0,008211	682,2	444	0,008605	694,6	0,008497	693,4	0,008390	692,2
436	0,008543	687,7	0,008429	686,4	0,008316	685,1	446	0,008701	697,2	0,008592	696,0	0,008485	694,8
438	0,008645	690,4	0,008531	689,2	0,008419	687,9	448	0,008795	699,8	0,008686	698,6	0,008580	697,4
440	0,008746	693,1	0,008632	691,8	0,008520	690,6	450	0,008887	702,2	0,008779	701,1	0,008672	700,0
442	0,008844	695,7	0,008731	694,5	0,008617	693,2							
444	0,008941	698,3	0,008827	697,1	0,008716	695,9							
446	0,009036	700,8	0,008922	699,6	0,008811	698,4							
448	0,009129	703,2	0,009016	702,1	0,008904	701,0							
450	0,009221	705,6	0,009108	704,5	0,008997	703,4							
	$p=260 \text{ кгс/см}^2$		$p=262 \text{ кгс/см}^2$		$p=264 \text{ кгс/см}^2$			$p=266 \text{ кгс/см}^2$		$p=268 \text{ кгс/см}^2$		$p=270 \text{ кгс/см}^2$	
350	0,001593	388,1	0,001593	387,9	0,001591	387,7	360	0,001589	387,6	0,001587	387,4	0,001585	387,3
352	0,001611	391,4	0,001609	391,2	0,001607	391,1	362	0,001603	390,9	0,001603	390,7	0,001601	390,6
354	0,001629	394,8	0,001627	394,7	0,001624	394,5	364	0,001622	393,4	0,001620	394,1	0,001618	393,9
356	0,001648	398,4	0,001645	398,2	0,001643	398,0	366	0,001640	397,8	0,001638	397,6	0,001635	397,4
358	0,001668	402,0	0,001665	401,8	0,001662	401,5	368	0,001639	401,3	0,001637	401,0	0,001634	400,9
360	0,001689	405,7	0,001686	405,5	0,001683	405,2	370	0,001690	405,0	0,001677	404,7	0,001674	404,5
362	0,001713	409,6	0,001709	409,3	0,001706	409,0	372	0,001702	408,7	0,001699	408,5	0,001696	408,2
364	0,001738	413,6	0,001734	413,2	0,001730	412,9	374	0,001726	412,6	0,001723	412,4	0,001719	412,1
366	0,001766	417,7	0,001761	417,4	0,001757	417,1	376	0,001753	416,6	0,001748	416,4	0,001744	416,1
368	0,001797	422,1	0,001792	421,7	0,001787	421,3	378	0,001782	421,0	0,001777	420,7	0,001772	420,2
370	0,001826	426,8	0,001826	426,3	0,001820	425,9	380	0,001814	425,5	0,001809	425,0	0,001803	424,6
372	0,001872	431,8	0,001863	431,3	0,001858	430,7	382	0,001831	430,2	0,001811	429,7	0,001833	429,3
374	0,001920	437,3	0,001910	436,6	0,001902	436,0	384	0,001893	434,2	0,001885	434,8	0,001877	434,2
376	0,001977	443,4	0,001963	442,5	0,001953	441,7	386	0,001943	441,0	0,001933	440,3	0,001923	439,8
378	0,002048	450,3	0,002032	449,2	0,002017	448,2	388	0,002003	447,2	0,001990	446,3	0,001978	445,5
380	0,002142	458,5	0,002119	457,0	0,002098	455,6	390	0,002079	451,4	0,002061	453,2	0,002045	452,1
382	0,002279	469,0	0,002240	466,7	0,002207	464,6	392	0,002178	462,8	0,002153	461,2	0,002130	459,8
384	0,002507	483,9	0,002431	479,8	0,002371	476,4	394	0,002322	473,6	0,002280	471,1	0,002245	469,0
386	0,002933	507,8	0,002779	499,7	0,002650	493,4	396	0,002552	488,4	0,002475	484,3	0,002414	480,9
388	0,003367	536,1	0,003348	526,8	0,003311	517,5	398	0,002947	509,7	0,002860	502,9	0,002833	497,2
390	0,004121	557,0	0,004035	549,7	0,003988	542,0	400	0,003477	534,1	0,003277	526,1	0,003208	518,6
392	0,004536	572,1	0,004436	566,4	0,004415	560,3	402	0,003660	553,8	0,003467	547,0	0,003377	540,1
394	0,004875	583,9	0,004764	579,1	0,004731	574,1	404	0,004356	568,8	0,004180	563,3	0,004094	557,5
396	0,005164	593,6	0,005006	589,5	0,004917	585,2	406	0,004637	580,7	0,004426	576,1	0,004363	571,2
398	0,005420	601,9	0,005221	598,3	0,005122	594,5	408	0,004972	590,6	0,004822	585,6	0,004672	582,4
400							410	0,005225	599,1	0,005083	595,6	0,004941	591,8
402							412	0,005433	606,6	0,005317	603,2	0,005187	601,1
404							414	0,005681	613,4	0,005531	610,9	0,005401	607,4
406							416	0,005875	619,5	0,005738	616,8	0,005603	613,0
408							418	0,006035	625,2	0,005912	622,6	0,005790	620,1

Продолжение табл. XXVII

$t, ^\circ\text{C}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$	$t, ^\circ\text{C}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$
	$p=266 \text{ кгс}/\text{см}^2$		$p=268 \text{ кгс}/\text{см}^2$		$p=270 \text{ кгс}/\text{см}^2$			$p=272 \text{ кгс}/\text{см}^2$		$p=274 \text{ кгс}/\text{см}^2$		$p=276 \text{ кгс}/\text{см}^2$	
410	0,006205	630,4	0,006085	628,1	0,005966	625,6	420	0,006610	647,0	0,006502	645,1	0,006396	643,1
412	0,016366	635,4	0,006248	633,1	0,006132	630,9	422	0,006744	651,0	0,006637	649,2	0,006532	647,4
414	0,006519	640,0	0,006403	637,9	0,006289	635,7	424	0,006872	654,9	0,006767	653,2	0,006662	651,4
416	0,006665	644,4	0,006551	642,4	0,006439	640,3	426	0,006997	658,6	0,006892	657,0	0,006789	655,3
418	0,006806	648,6	0,006693	646,7	0,006582	644,7	428	0,007118	662,2	0,007014	660,6	0,006911	659,0
420	0,006941	652,6	0,006829	650,7	0,006719	648,9	430	0,007235	665,7	0,007131	664,1	0,007029	662,5
422	0,007071	656,4	0,006961	654,5	0,006852	652,8	432	0,007348	669,0	0,007246	667,5	0,007144	666,0
424	0,007197	660,1	0,007087	658,4	0,006979	656,7	434	0,007459	672,3	0,007367	670,8	0,007266	669,3
426	0,007319	663,6	0,007210	662,0	0,007103	660,3	436	0,007567	675,4	0,007466	674,0	0,007365	672,6
428	0,007437	667,0	0,007329	665,4	0,007223	663,8	438	0,007673	678,5	0,007571	677,1	0,007471	675,7
430	0,007552	670,3	0,007445	668,8	0,007339	667,2	440	0,007776	681,5	0,007675	680,1	0,007575	678,8
432	0,007664	673,5	0,007558	672,0	0,007452	670,5	442	0,007876	684,4	0,007776	683,1	0,007676	681,8
434	0,007773	676,6	0,007667	675,2	0,007563	673,7	444	0,007973	687,2	0,007875	685,9	0,007776	684,7
436	0,007880	679,6	0,007774	678,2	0,007670	676,8	446	0,008072	690,0	0,007972	688,7	0,007873	687,5
438	0,007984	682,6	0,007879	681,2	0,007773	679,9	448	0,008166	692,7	0,008067	691,5	0,007968	690,3
440	0,008086	685,4	0,007981	684,1	0,007878	682,8	450	0,008260	695,3	0,008160	694,1	0,008081	693,0
442	0,008186	688,2	0,008081	687,0	0,007978	685,7							
444	0,008284	691,0	0,008180	689,7	0,008077	688,5							
446	0,008380	693,6	0,008276	692,4	0,008173	691,2	350	0,001578	386,7	0,001576	386,3	0,001574	386,4
448	0,008474	696,3	0,008370	695,1	0,008268	693,9	352	0,001593	389,9	0,001591	389,8	0,001589	389,6
450	0,008567	698,8	0,008463	697,7	0,008361	696,5	354	0,001609	393,2	0,001607	393,1	0,001605	392,9
							356	0,001626	396,6	0,001624	396,4	0,001621	396,3
							358	0,001644	400,1	0,001641	399,9	0,001639	399,7
	$p=272 \text{ кгс}/\text{см}^2$		$p=274 \text{ кгс}/\text{см}^2$		$p=276 \text{ кгс}/\text{см}^2$		360	0,001663	403,6	0,001660	403,4	0,001658	403,2
350	0,001583	387,1	0,001581	387,0	0,001580	386,8	362	0,001683	407,2	0,001680	407,0	0,001677	406,8
352	0,001599	390,4	0,001597	390,2	0,001595	390,1	364	0,001705	411,0	0,001702	410,7	0,001699	410,5
354	0,001615	393,8	0,001613	393,6	0,001611	393,4	366	0,001729	414,9	0,001725	414,6	0,001722	414,3
356	0,001633	397,2	0,001630	397,0	0,001628	396,8	368	0,001753	418,9	0,001751	418,6	0,001747	418,2
358	0,001651	400,7	0,001649	400,5	0,001646	400,3	370	0,001783	423,1	0,001778	422,7	0,001774	422,4
360	0,001671	404,3	0,001668	404,0	0,001666	403,8	372	0,001815	427,5	0,001809	427,1	0,001804	426,7
362	0,001692	408,0	0,001689	407,7	0,001686	407,5	374	0,001850	432,1	0,001844	431,7	0,001837	431,2
364	0,001715	411,8	0,001712	411,5	0,001709	411,3	376	0,001890	437,1	0,001882	436,6	0,001875	436,0
366	0,001740	415,8	0,001736	415,4	0,001733	415,2	378	0,001936	442,5	0,001927	441,8	0,001918	441,2
368	0,001768	419,9	0,001763	419,5	0,001759	419,2	380	0,001991	448,4	0,001980	447,6	0,001969	446,8
370	0,001798	424,2	0,001793	423,8	0,001788	423,4	382	0,002058	454,0	0,002043	454,0	0,002035	453,0
372	0,001832	428,8	0,001826	428,3	0,001820	427,9	384	0,002141	462,5	0,002121	461,2	0,002103	460,0
374	0,001870	433,7	0,001863	433,1	0,001856	432,6	386	0,002250	471,4	0,002221	469,6	0,002196	468,0
376	0,001914	438,9	0,001906	438,3	0,001898	437,7	388	0,002402	482,3	0,002358	479,8	0,002319	477,5
378	0,001967	444,9	0,001956	443,9	0,001946	443,2	390	0,002625	496,3	0,002552	492,6	0,002491	489,3
380	0,002030	451,1	0,002016	450,1	0,002003	449,3	392	0,002944	513,9	0,002881	508,6	0,002835	504,0
382	0,002110	458,4	0,002091	457,2	0,002074	456,1	394	0,003335	532,8	0,003191	526,8	0,003060	521,2
384	0,002214	467,1	0,002187	465,4	0,002163	463,9	396	0,003724	549,8	0,003571	544,1	0,003426	538,5
386	0,002363	476,5	0,002330	474,5	0,002283	473,3	398	0,004071	563,9	0,003923	558,9	0,003779	553,9
388	0,002591	492,0	0,002516	488,6	0,002454	485,2	400	0,004375	575,7	0,004235	571,3	0,004096	566,9
390	0,002945	511,8	0,002817	505,8	0,002711	500,7	402	0,004645	585,7	0,004512	581,8	0,004379	577,9
392	0,003396	533,1	0,003227	526,2	0,003076	519,8	404	0,004887	594,4	0,004759	590,9	0,004633	587,4
394	0,003829	551,4	0,003658	545,2	0,003492	539,0	406	0,005107	602,1	0,004984	599,0	0,004863	595,8
396	0,004202	566,1	0,004040	560,8	0,003880	555,4	408	0,005310	609,1	0,005191	606,2	0,005073	603,3
398	0,004521	578,0	0,004370	573,5	0,004220	568,8	410	0,005498	615,5	0,005382	612,8	0,005268	610,0
400	0,004799	588,0	0,004658	584,0	0,004516	579,9	412	0,005674	621,3	0,005562	618,8	0,005450	616,3
402	0,005047	596,6	0,004913	593,1	0,004779	589,5	414	0,005840	626,7	0,005730	624,4	0,005621	622,0
404	0,005272	604,3	0,005143	601,1	0,005015	597,8	416	0,005997	631,8	0,005839	629,6	0,005782	627,4
406	0,005478	611,2	0,005354	608,2	0,005230	605,2	418	0,006147	636,6	0,006041	634,5	0,005935	632,4
408	0,005669	617,4	0,005549	614,7	0,005429	611,9	420	0,006290	641,2	0,006185	639,2	0,006081	637,2
410	0,005848	623,2	0,005730	620,7	0,005614	618,1	422	0,006427	645,5	0,006324	643,6	0,006221	641,7
412	0,006016	628,5	0,005901	626,2	0,005787	623,8	424	0,006559	649,6	0,006457	647,8	0,006353	645,9
414	0,006173	633,5	0,006062	631,3	0,005951	629,1	426	0,006696	653,0	0,006585	651,8	0,006485	650,0
416	0,006327	638,3	0,006216	636,2	0,006106	634,0	428	0,006839	657,3	0,006709	655,6	0,006609	653,9
418	0,006471	642,7	0,006362	640,7	0,006254	638,7							

$t, ^\circ\text{C}$	$\nu, \text{м}^2/\text{сек}$	$\frac{L}{\text{мм}^2/\text{сек}}$	$\nu, \text{м}^2/\text{сек}$	$\frac{L}{\text{мм}^2/\text{сек}}$	$\nu, \text{м}^2/\text{сек}$	$\frac{L}{\text{мм}^2/\text{сек}}$	$t, ^\circ\text{C}$	$\nu, \text{м}^2/\text{сек}$	$\frac{L}{\text{мм}^2/\text{сек}}$	$\nu, \text{м}^2/\text{сек}$	$\frac{L}{\text{мм}^2/\text{сек}}$	$\nu, \text{м}^2/\text{сек}$	$\frac{L}{\text{мм}^2/\text{сек}}$
	$p=278 \text{ кгс/см}^2$		$p=280 \text{ кгс/см}^2$		$p=282 \text{ кгс/см}^2$			$p=284 \text{ кгс/см}^2$		$p=286 \text{ кгс/см}^2$		$p=288 \text{ кгс/см}^2$	
430	0,006928	660,9	0,006829	659,4	0,006730	657,7	440	0,007189	673,3	0,007095	671,9	0,007003	670,4
432	0,007044	664,5	0,006945	662,9	0,006847	661,3	442	0,007292	676,4	0,007198	675,0	0,007106	673,7
434	0,007156	667,8	0,007058	666,3	0,006961	664,8	444	0,007392	679,4	0,007299	678,1	0,007207	676,8
436	0,007266	671,1	0,007168	669,7	0,007071	668,2	446	0,007490	682,4	0,007397	681,1	0,007306	679,9
438	0,007373	674,3	0,007275	672,9	0,007179	671,5	448	0,007586	685,3	0,007494	684,1	0,007403	682,8
440	0,007477	677,4	0,007380	676,0	0,007284	674,7	450	0,007681	688,1	0,007588	686,9	0,007497	685,7
442	0,007578	680,4	0,007482	679,1	0,007386	677,7							
444	0,007678	683,4	0,007581	682,1	0,007489	680,8							
446	0,007775	686,2	0,007679	685,0	0,007584	683,7							
448	0,007871	689,0	0,007775	687,8	0,007680	686,6							
450	0,007964	691,8	0,007869	690,6	0,007774	689,4							
	$p=284 \text{ кгс/см}^2$		$p=286 \text{ кгс/см}^2$		$p=288 \text{ кгс/см}^2$			$p=290 \text{ кгс/см}^2$		$p=292 \text{ кгс/см}^2$		$p=294 \text{ кгс/см}^2$	
350	0,001572	386,3	0,001571	386,1	0,001569	386,0	360	0,001647	402,4	0,001645	402,2	0,001643	402,0
352	0,001587	389,3	0,001586	389,3	0,001583	389,0	362	0,001666	405,9	0,001664	405,7	0,001661	405,5
354	0,001603	392,8	0,001601	392,6	0,001599	392,4	364	0,001687	409,5	0,001684	409,3	0,001681	409,1
356	0,001619	396,1	0,001617	395,9	0,001615	395,7	366	0,001708	413,2	0,001705	413,0	0,001702	412,8
358	0,001637	399,5	0,001634	399,3	0,001632	399,1	368	0,001732	417,1	0,001728	416,8	0,001724	416,5
360	0,001655	403,0	0,001652	402,8	0,001650	402,6	370	0,001757	421,0	0,001753	420,7	0,001749	420,4
362	0,001675	406,6	0,001672	406,3	0,001669	406,1	372	0,001785	425,2	0,001780	424,9	0,001776	424,5
364	0,001696	410,2	0,001693	410,0	0,001690	409,7	374	0,001815	429,5	0,001810	429,1	0,001805	428,7
366	0,001718	414,0	0,001715	413,7	0,001712	413,5	376	0,001849	434,1	0,001843	433,6	0,001837	433,2
368	0,001743	417,9	0,001739	417,6	0,001735	417,3	378	0,001887	438,9	0,001880	438,4	0,001873	437,9
370	0,001769	422,0	0,001765	421,7	0,001761	421,4	380	0,001931	444,1	0,001922	443,5	0,001914	442,9
372	0,001799	426,3	0,001794	425,9	0,001789	425,5	382	0,001981	449,7	0,001971	449,0	0,001961	448,3
374	0,001832	430,8	0,001828	430,4	0,001820	429,9	384	0,002041	455,9	0,002029	455,0	0,002016	454,1
376	0,001869	435,5	0,001862	435,0	0,001853	434,5	386	0,002114	462,7	0,002097	461,6	0,002082	460,6
378	0,001910	440,6	0,001902	440,0	0,001893	439,5	388	0,002204	470,5	0,002181	469,1	0,002161	467,8
380	0,001959	446,1	0,001949	445,4	0,001940	444,7	390	0,002319	479,6	0,002288	477,7	0,002260	475,0
382	0,002016	452,1	0,002004	451,3	0,001992	450,5	392	0,002473	490,4	0,002428	487,9	0,002388	485,6
384	0,002086	458,9	0,002070	457,8	0,002053	456,8	394	0,002650	503,3	0,002614	499,9	0,002566	496,9
386	0,002172	466,5	0,002155	465,2	0,002132	463,9	396	0,002846	518,1	0,002804	513,9	0,002744	510,0
388	0,002285	475,3	0,002265	473,7	0,002248	472,0	398	0,003233	533,6	0,003142	528,9	0,003040	524,5
390	0,002439	486,4	0,002394	483,9	0,002354	481,6	400	0,003568	548,2	0,003447	543,6	0,003333	539,0
392	0,002654	499,9	0,002585	495,3	0,002523	493,2	402	0,003865	561,1	0,003743	556,8	0,003625	552,4
394	0,002945	516,0	0,002843	511,3	0,002776	507,1	404	0,004137	572,3	0,004017	568,4	0,003900	564,4
396	0,003289	533,0	0,003163	527,7	0,003048	522,8	406	0,004385	582,1	0,004268	578,5	0,004154	574,9
398	0,003638	548,7	0,003503	543,6	0,003374	538,6	408	0,004611	590,8	0,004498	587,5	0,004387	584,2
400	0,003959	562,3	0,003825	557,6	0,003694	552,9	410	0,004820	598,6	0,004710	595,5	0,004602	592,5
402	0,004248	573,8	0,004118	568,6	0,003990	565,4	412	0,005013	605,6	0,004906	602,8	0,004801	600,0
404	0,004507	583,7	0,004382	580,0	0,004259	576,2	414	0,005194	612,1	0,005090	609,5	0,004986	606,8
406	0,004742	592,5	0,004622	589,1	0,004503	585,6	416	0,005364	618,0	0,005262	615,3	0,005161	613,1
408	0,004957	600,2	0,004840	597,1	0,004723	594,0	418	0,005524	623,6	0,005424	621,3	0,005325	619,4
410	0,005158	607,3	0,005042	604,4	0,004931	601,5	420	0,005677	628,8	0,005578	626,6	0,005480	624,0
412	0,005340	613,7	0,005230	611,0	0,005121	608,3	422	0,005822	633,7	0,005725	631,6	0,005628	629,6
414	0,005513	619,6	0,005406	617,1	0,005299	614,6	424	0,005951	638,3	0,005845	636,4	0,005740	634,4
416	0,005676	625,1	0,005571	622,8	0,005467	620,4	426	0,006094	642,8	0,005989	640,9	0,005906	639,0
418	0,005831	630,3	0,005728	628,1	0,005626	625,8	428	0,006223	647,0	0,006129	645,2	0,006036	643,4
420	0,005979	635,1	0,005877	633,0	0,005776	630,9	430	0,006347	651,0	0,006253	649,3	0,006161	647,5
422	0,006120	639,7	0,006020	637,7	0,005920	635,7	432	0,006466	654,9	0,006374	653,2	0,006282	651,5
424	0,006255	644,1	0,006156	642,2	0,006058	640,3	434	0,006582	658,6	0,006491	657,0	0,006400	655,4
426	0,006386	648,6	0,006287	646,4	0,006190	644,6	436	0,006693	662,2	0,006604	660,6	0,006514	659,1
428	0,006511	652,2	0,006414	650,5	0,006318	648,7	438	0,006805	665,6	0,006714	664,1	0,006624	662,7
430	0,006635	656,0	0,006536	654,4	0,006441	652,7	440	0,006911	669,0	0,006821	667,6	0,006732	666,1
432	0,006760	659,7	0,006659	658,1	0,006560	656,3	442	0,007015	672,3	0,006925	670,9	0,006836	669,5
434	0,006884	663,7	0,006783	662,1	0,006685	660,2	444	0,007117	675,4	0,007027	674,1	0,006938	672,7
436	0,006999	666,7	0,006898	665,2	0,006800	663,7	446	0,007216	679,5	0,007126	677,7	0,007038	676,5
438	0,007093	670,0	0,006999	668,6	0,006906	667,1	448	0,007312	683,5	0,007224	682,0	0,007136	679,9
							450	0,007407	687,4	0,007319	686,2	0,007231	684,9

Продолжение табл. XXVII

t, °C	$\sigma, \text{МПа}$	$\epsilon, \text{мм/мм}$	$\sigma, \text{МПа}$	$\epsilon, \text{мм/мм}$	$\sigma, \text{МПа}$	$\epsilon, \text{мм/мм}$	t, °C	$\sigma, \text{МПа}$	$\epsilon, \text{мм/мм}$	$\sigma, \text{МПа}$	$\epsilon, \text{мм/мм}$	$\sigma, \text{МПа}$	$\epsilon, \text{мм/мм}$
	$p=296 \text{ кгс/см}^2$		$p=298 \text{ кгс/см}^2$		$p=300 \text{ кгс/см}^2$			$p=302 \text{ кгс/см}^2$		$p=304 \text{ кгс/см}^2$		$p=306 \text{ кгс/см}^2$	
350	0,00162	385,5	0,001561	385,3	0,001559	385,2	360	0,001631	401,3	0,001631	401,1	0,001629	400,9
352	0,001570	388,6	0,001573	388,5	0,001573	388,4	362	0,001651	408,7	0,001649	404,5	0,001646	404,3
354	0,001591	391,8	0,001589	391,7	0,001587	391,5	364	0,001670	408,2	0,001667	408,0	0,001665	407,8
356	0,001607	395,1	0,001605	394,9	0,001603	394,8	366	0,001690	411,5	0,001687	411,5	0,001681	411,3
358	0,001623	398,4	0,001621	398,2	0,001619	398,1	368	0,001711	415,8	0,001708	415,2	0,001705	415,0
360	0,001640	401,8	0,001638	401,6	0,001636	401,4	370	0,001734	419,3	0,001731	419,0	0,001727	418,7
362	0,001659	405,3	0,001656	405,1	0,001653	404,9	372	0,001759	423,2	0,001755	422,9	0,001751	422,6
364	0,001678	408,8	0,001675	408,6	0,001672	408,4	374	0,001786	427,3	0,001782	426,9	0,001777	426,6
366	0,001699	412,5	0,001696	412,2	0,001693	412,0	376	0,001816	431,5	0,001811	431,1	0,001806	430,8
368	0,001721	416,2	0,001718	416,0	0,001714	415,7	378	0,001848	436,0	0,001843	435,6	0,001837	435,2
370	0,001745	420,1	0,001741	419,8	0,001733	419,5	380	0,001885	440,7	0,001878	440,2	0,001872	439,8
372	0,001771	424,1	0,001767	423,8	0,001763	423,5	382	0,001926	445,8	0,001918	445,2	0,001911	444,6
374	0,001800	428,1	0,001796	427,8	0,001791	427,6	384	0,001973	451,1	0,001964	450,5	0,001955	449,8
376	0,001832	432,8	0,001826	432,3	0,001821	431,9	386	0,002028	457,0	0,002017	456,2	0,002006	455,4
378	0,001867	437,4	0,001860	436,9	0,001854	436,5	388	0,002093	463,3	0,002078	462,4	0,002065	461,5
380	0,001907	442,3	0,001899	441,8	0,001892	441,3	390	0,002170	470,4	0,002152	469,2	0,002134	468,1
382	0,001952	447,6	0,001943	447,0	0,001933	446,4	392	0,002265	478,3	0,002241	476,8	0,002218	475,4
384	0,002005	453,4	0,002001	452,6	0,001983	451,4	394	0,002384	487,4	0,002351	485,5	0,002321	483,7
386	0,002067	459,6	0,002063	458,7	0,002040	457,8	396	0,002534	497,7	0,002489	495,3	0,002449	493,1
388	0,002142	466,6	0,002124	465,4	0,002108	464,4	398	0,002722	509,5	0,002663	506,5	0,002609	503,7
390	0,002235	474,4	0,002211	473,0	0,002190	471,6	400	0,002949	522,4	0,002872	518,9	0,002803	515,5
392	0,002352	483,5	0,002320	481,6	0,002291	479,9	402	0,003202	535,6	0,003112	531,8	0,003028	528,1
394	0,002505	494,1	0,002460	491,7	0,002420	489,4	404	0,003463	548,3	0,003364	544,4	0,003271	540,6
396	0,002702	506,5	0,002639	503,3	0,002584	500,4	406	0,003718	560,9	0,003615	556,2	0,003517	552,4
398	0,002947	520,3	0,002864	516,1	0,002789	512,8	408	0,003937	570,4	0,003835	566,3	0,003735	563,3
400	0,003225	534,5	0,003125	530,3	0,003033	526,2	410	0,004181	579,8	0,004079	576,5	0,003980	573,2
402	0,003511	548,1	0,003402	543,3	0,003299	539,7	412	0,004439	588,2	0,004320	585,2	0,004192	582,1
404	0,003785	560,3	0,003674	556,3	0,003566	552,3	414	0,004684	596,9	0,004566	593,0	0,004430	590,2
406	0,004041	571,2	0,003930	567,4	0,003822	563,7	416	0,004937	602,9	0,004810	600,3	0,004675	597,6
408	0,004276	580,8	0,004168	577,3	0,004061	573,9	418	0,005190	615,4	0,005067	613,0	0,004915	610,7
410	0,004494	589,4	0,004388	586,2	0,004283	583,0	420	0,005450	628,1	0,005316	625,8	0,005172	623,4
412	0,004699	597,1	0,004592	594,2	0,004490	591,2	422	0,005723	640,3	0,005579	638,6	0,005429	636,8
414	0,004884	604,2	0,004783	601,4	0,004683	598,7	424	0,006007	652,6	0,005850	650,2	0,005697	647,8
416	0,005060	610,6	0,004961	608,1	0,004863	605,5	426	0,006294	665,1	0,006141	662,7	0,005981	660,3
418	0,005226	616,6	0,005129	614,2	0,005033	611,8	428	0,006587	677,6	0,006434	675,1	0,006271	672,7
420	0,005394	622,2	0,005288	620,0	0,005193	617,7	430	0,006886	690,1	0,006731	687,6	0,006569	685,2
422	0,005533	627,5	0,005433	625,3	0,005346	623,2	432	0,007192	702,6	0,007037	700,1	0,006877	697,7
424	0,005674	632,4	0,005573	630,4	0,005491	628,3	434	0,007507	715,1	0,007342	712,6	0,007180	710,2
426	0,005813	637,1	0,005711	635,2	0,005630	633,2	436	0,007831	727,6	0,007666	725,1	0,007504	722,7
428	0,005944	641,5	0,005843	639,7	0,005763	637,8	438	0,008166	740,1	0,007991	737,6	0,007829	735,2
430	0,006070	645,8	0,005980	644,0	0,005901	642,2	440	0,008509	752,6	0,008334	750,1	0,008162	747,7
432	0,006192	649,9	0,006103	648,2	0,006014	646,5	442	0,008861	765,1	0,008686	762,6	0,008513	760,2
434	0,006310	653,8	0,006221	652,1	0,006134	650,5	444	0,009221	777,6	0,009046	775,1	0,008871	772,7
436	0,006425	657,5	0,006336	655,0	0,006249	653,4	446	0,009589	790,1	0,009414	787,6	0,009239	785,2
438	0,006535	661,2	0,006448	659,6	0,006361	658,1	448	0,009964	802,6	0,009789	800,1	0,009613	797,7
440	0,006643	664,7	0,006556	663,2	0,006470	661,7	450	0,010349	815,1	0,010174	812,6	0,010000	810,2
442	0,006749	668,0	0,006662	666,5	0,006575	665,2							
444	0,006851	671,3	0,006765	670,0	0,006679	668,6							
446	0,006951	674,5	0,006865	673,2	0,006780	671,8							
448	0,007049	677,6	0,006963	676,3	0,006878	675,0							
450	0,007144	680,7	0,007059	679,4	0,006974	678,1							
	$p=302 \text{ кгс/см}^2$		$p=304 \text{ кгс/см}^2$		$p=306 \text{ кгс/см}^2$			$p=308 \text{ кгс/см}^2$		$p=310 \text{ кгс/см}^2$		$p=312 \text{ кгс/см}^2$	
370	0,001371	385,1	0,001356	384,0	0,001354	384,9	370	0,001533	384,7	0,001551	384,6	0,001550	384,5
372	0,001371	388,2	0,001359	388,1	0,001358	388,0	372	0,001566	387,8	0,001584	387,7	0,001583	387,6
374	0,001386	391,4	0,001374	391,2	0,001382	391,1	374	0,001580	391,0	0,001578	390,8	0,001577	390,7
376	0,001401	394,6	0,001399	394,5	0,001397	394,3	376	0,001593	394,2	0,001593	394,0	0,001591	393,9
378	0,001417	397,9	0,001414	397,7	0,001412	397,6	378	0,001610	397,4	0,001608	397,3	0,001606	397,1
380	0,001432	401,1	0,001429	401,0	0,001427	400,9	380	0,001627	400,7	0,001625	400,5	0,001622	400,4
382	0,001448	404,3	0,001445	404,2	0,001443	404,1	382	0,001644	404,1	0,001642	403,9	0,001639	403,8
384	0,001464	407,5	0,001461	407,4	0,001459	407,3	384	0,001662	407,5	0,001659	407,4	0,001657	407,2
386	0,001481	410,7	0,001478	410,6	0,001476	410,5	386	0,001681	411,1	0,001679	410,9	0,001676	410,7
388	0,001497	413,9	0,001494	413,8	0,001492	413,7	388	0,001702	414,7	0,001699	414,5	0,001696	414,3

$t, ^\circ\text{C}$	$\nu, \text{м/сек}$	$l, \text{мм/м/сек}$	$\nu, \text{м/сек}$	$l, \text{мм/м/сек}$	$\nu, \text{м/сек}$	$l, \text{мм/м/сек}$	$t, ^\circ\text{C}$	$\nu, \text{м/сек}$	$l, \text{мм/м/сек}$	$\nu, \text{м/сек}$	$l, \text{мм/м/сек}$	$t, ^\circ\text{C}$	$\nu, \text{м/сек}$	$l, \text{мм/м/сек}$	$\nu, \text{м/сек}$	$l, \text{мм/м/сек}$
	$p=308 \text{ кгс/см}^2$		$p=310 \text{ кгс/см}^2$		$p=312 \text{ кгс/см}^2$			$p=314 \text{ кгс/см}^2$		$p=316 \text{ кгс/см}^2$			$p=318 \text{ кгс/см}^2$			
370	0,001724	418,4	0,001721	418,2	0,001717	417,9	380	0,001848	438,0	0,001843	437,6	0,001837	437,1			
372	0,001747	422,3	0,001744	422,0	0,001740	421,7	382	0,001863	442,6	0,001857	442,1	0,001851	441,7			
374	0,001773	426,3	0,001769	426,0	0,001765	425,6	384	0,001892	447,5	0,001886	447,0	0,001880	446,6			
376	0,001801	430,4	0,001796	430,1	0,001792	429,7	386	0,001917	452,6	0,001912	452,1	0,001906	451,7			
378	0,001832	434,8	0,001826	434,4	0,001821	434,0	388	0,002017	458,2	0,002011	457,8	0,002005	457,4			
380	0,001866	439,3	0,001860	438,8	0,001854	438,4	390	0,002076	464,2	0,002070	463,8	0,002064	463,4			
382	0,001904	444,1	0,001899	443,6	0,001890	443,1	392	0,002144	470,7	0,002138	470,3	0,002132	469,9			
384	0,001946	449,2	0,001938	448,6	0,001930	448,0	394	0,002225	477,9	0,002219	477,5	0,002213	477,1			
386	0,001995	454,7	0,001985	454,4	0,001976	453,8	396	0,002323	486,8	0,002317	486,4	0,002311	486,0			
388	0,002052	460,6	0,002040	459,8	0,002028	459,0	398	0,002441	494,7	0,002435	494,3	0,002429	493,9			
390	0,002118	467,0	0,002103	466,0	0,002089	465,1	400	0,002565	504,5	0,002559	504,1	0,002553	503,7			
392	0,002198	474,2	0,002179	472,9	0,002161	471,8	402	0,002756	515,3	0,002750	514,9	0,002744	514,5			
394	0,002294	482,1	0,002269	480,6	0,002246	479,2	404	0,003053	526,7	0,003047	526,3	0,003041	525,9			
396	0,002413	491,1	0,002380	489,2	0,002360	487,4	406	0,003367	538,2	0,003361	537,8	0,003355	537,4			
398	0,002561	501,2	0,002517	500,6	0,002477	499,7	408	0,003689	549,4	0,003683	549,0	0,003677	548,6			
400	0,002740	512,5	0,002684	509,6	0,002652	507,0	410	0,004048	563,9	0,004042	563,5	0,004036	563,1			
402	0,002951	524,6	0,002880	521,3	0,002836	518,2	412	0,004519	579,6	0,004513	579,2	0,004507	578,8			
404	0,003183	536,9	0,003101	533,3	0,003024	529,9	414	0,005020	595,5	0,005014	595,1	0,005008	594,7			
406	0,003423	548,8	0,003333	545,2	0,003248	541,6	416	0,005540	611,6	0,005534	611,2	0,005528	610,8			
408	0,003668	559,8	0,003565	556,3	0,003475	552,8	418	0,006090	628,6	0,006084	628,2	0,006078	627,8			
410	0,003883	569,9	0,003789	566,5	0,003697	563,2	420	0,006660	646,1	0,006654	645,7	0,006648	645,3			
412	0,004095	579,0	0,004001	575,9	0,003909	572,7	422	0,007250	664,1	0,007244	663,7	0,007238	663,3			
414	0,004295	587,3	0,004201	584,4	0,004110	581,4	424	0,007860	682,1	0,007854	681,7	0,007848	681,3			
416	0,004482	594,9	0,004390	592,1	0,004299	589,4	426	0,008480	699,6	0,008474	699,2	0,008468	698,8			
418	0,004658	601,8	0,004568	599,3	0,004478	596,7	428	0,009110	717,1	0,009104	716,7	0,009098	716,3			
420	0,004825	608,3	0,004735	605,9	0,004645	603,4	430	0,009750	734,6	0,009744	734,2	0,009738	733,8			
422	0,004982	614,3	0,004894	612,0	0,004807	609,7	432	0,010400	752,1	0,010394	751,7	0,010388	751,3			
424	0,005133	619,9	0,005046	617,7	0,004960	615,6	434	0,011060	769,6	0,011054	769,2	0,011048	768,8			
426	0,005276	625,2	0,005190	623,1	0,005105	621,1	436	0,011720	787,1	0,011714	786,7	0,011708	786,3			
428	0,005413	630,2	0,005328	628,2	0,005244	626,3	438	0,012390	804,6	0,012384	804,2	0,012378	803,8			
430	0,005544	634,9	0,005460	633,1	0,005377	631,2	440	0,013070	822,1	0,013064	821,7	0,013058	821,3			
432	0,005671	639,4	0,005587	637,6	0,005504	635,8	442	0,013760	840,6	0,013754	840,2	0,013748	839,8			
434	0,005793	643,7	0,005710	642,0	0,005628	640,3	444	0,014460	859,1	0,014454	858,7	0,014448	858,3			
436	0,005911	647,9	0,005829	646,2	0,005747	644,5	446	0,015170	877,6	0,015164	877,2	0,015158	876,8			
438	0,006025	651,8	0,005943	650,2	0,005863	648,6	448	0,015890	896,1	0,015884	895,7	0,015878	895,3			
440	0,006136	655,6	0,006055	654,1	0,005974	652,6	450	0,016620	914,6	0,016614	914,2	0,016608	913,8			
442	0,006243	659,3	0,006163	657,8	0,006083	656,3										
444	0,006348	662,9	0,006268	661,4	0,006188	660,0										
446	0,006450	666,3	0,006370	664,9	0,006291	663,5										
448	0,006549	669,7	0,006470	668,3	0,006391	667,0										
450	0,006646	672,9	0,006567	671,6	0,006488	670,3										
	$p=314 \text{ кгс/см}^2$		$p=316 \text{ кгс/см}^2$		$p=318 \text{ кгс/см}^2$			$p=320 \text{ кгс/см}^2$		$p=322 \text{ кгс/см}^2$			$p=324 \text{ кгс/см}^2$			
350	0,001548	384,4	0,001547	384,3	0,001545	384,1	350	0,001624	383,9	0,001623	383,8	0,001621	383,7			
352	0,001561	387,4	0,001560	387,3	0,001558	387,1	352	0,001570	387,0	0,001569	386,9	0,001567	386,8			
354	0,001575	390,6	0,001573	390,4	0,001572	390,3	354	0,001584	393,3	0,001583	393,2	0,001581	393,0			
356	0,001589	393,7	0,001588	393,6	0,001586	393,5	356	0,001599	396,5	0,001597	396,4	0,001595	396,3			
358	0,001604	397,0	0,001603	396,8	0,001601	396,7	358	0,001614	399,8	0,001613	399,6	0,001611	399,5			
360	0,001620	400,2	0,001618	400,1	0,001616	399,9	360	0,001630	403,1	0,001628	402,9	0,001626	402,7			
362	0,001637	403,6	0,001635	403,4	0,001633	403,2	362	0,001646	406,4	0,001645	406,2	0,001643	406,0			
364	0,001655	407,0	0,001652	406,8	0,001650	406,6	364	0,001661	409,8	0,001660	409,6	0,001658	409,5			
366	0,001673	410,5	0,001671	410,3	0,001668	410,0	366	0,001675	413,1	0,001674	412,9	0,001672	412,7			
368	0,001693	414,0	0,001690	413,8	0,001687	413,6	368	0,001690	416,4	0,001689	416,2	0,001687	416,0			
370	0,001714	417,7	0,001711	417,4	0,001703	417,2	370	0,001705	419,7	0,001704	419,5	0,001702	419,3			
372	0,001737	421,5	0,001733	421,2	0,001730	420,9	372	0,001720	423,0	0,001719	422,8	0,001717	422,6			
374	0,001761	425,3	0,001757	425,0	0,001753	424,8	374	0,001735	426,3	0,001734	426,1	0,001732	425,9			
376	0,001788	429,4	0,001783	429,0	0,001779	428,7	376	0,001750	429,6	0,001749	429,4	0,001747	429,2			
378	0,001816	433,6	0,001812	433,2	0,001807	432,8	378	0,001765	432,9	0,001764	432,7	0,001762	432,5			

Продолжение табл. XXVIII

$t, ^\circ\text{C}$	$\nu, \text{м/сек}$	$\lambda, \text{мм/сек}$	$\nu, \text{м/сек}$	$\lambda, \text{мм/сек}$	$t, ^\circ\text{C}$	$\nu, \text{м/сек}$	$\lambda, \text{мм/сек}$	$\nu, \text{м/сек}$	$\lambda, \text{мм/сек}$
$P =$	$\gamma, \text{г/см}^3$	$\kappa, \text{г/м}^2$	3.4 кг/с/м^2		$\rho = 3 \text{ кг/с/м}^3$	$\rho = 3 \text{ кг/с/м}^3$	$\rho = 3 \text{ кг/с/м}^3$	$\rho = 3 \text{ кг/с/м}^3$	$\rho = 3 \text{ кг/с/м}^3$
396	0.00208	461,7	0,008	461,0	0,00118	460,2	400	0,0076	492,9
400	0.00209	461,7	0,008	460,9	0,00174	460,2	402	0,002493	501,5
394	0.0069	461,7	0,008	460,3	0,0021	479,4	404	0,002628	510,8
386	0.010	485,4	0,008	483,3	0,00221	479,4	406	0,002784	520,7
398	0.012	489,4	0,008	487,9	0,002300	486,5	408	0,002867	530,9
402	0.02468	489,4	0,002435	486,5	0,002401	486,5	410	0,003143	541,2
404	0.00208	461,7	0,008	460,9	0,00258	513,1	412	0,003364	551,2
402	0.0107	518,0	0,00270	515,7	0,00267	513,1	414	0,00356	560,8
406	0.009	528,8	0,001894	526,1	0,002767	523,1	416	0,00371	579,8
408	0.03154	539,7	0,0018	536,6	0,002819	533,7	418	0,003893	578,1
410	0.0339	550,3	0,00378	547,2	0,00321	544,2	420	0,004066	585,8
412	0.00564	560,3	0,003484	557,2	0,003408	554,2	422	0,004211	593,0
414	0.003762	569,6	0,00381	566,6	0,003602	563,7	424	0,004369	599,8
416	0.003958	578,5	0,003871	575,4	0,003790	57,6	426	0,004539	606,0
418	0.004134	586,1	0,004052	583,4	0,003972	580,8	428	0,004684	611,9
410	0.004307	593,5	0,004225	590,9	0,004145	588,4	430	0,004822	617,5
422	0.004471	600,3	0,004389	597,9	0,004310	595,5	432	0,004954	622,8
424	0.004626	106,6	0,004546	604,4	0,00447	602,1	434	0,005092	627,7
426	0.04777	612,6	0,004596	610,4	0,004617	608,2	436	0,005235	632,5
428	0.004917	618,2	0,004838	616,1	0,004761	614,0	438	0,005382	637,0
430	0.005054	623,4	0,004975	621,5	0,004898	619,5	440	0,005538	641,4
440	0.005584	628,4	0,005107	626,6	0,005030	627,7	442	0,005693	645,6
434	0.005310	633,2	0,00533	631,4	0,005157	629,6	444	0,005856	649,6
436	0.005432	137,7	0,005355	636,0	0,005286	633,4	446	0,006023	653,4
438	0.005499	142,1	0,005473	640,4	0,005358	638,7	448	0,006196	657,2
440	0.005663	646,2	0,005587	644,6	0,005512	643,0	450	0,006376	660,8
442	0.005773	650,2	0,005697	648,7	0,005623	647,1	452	0,006564	664,8
444	0.005880	654,4	0,005805	652,6	0,005731	651,1	454	0,006759	668,6
446	0.005984	657,8	0,005909	656,4	0,005835	654,9	456	0,006960	672,5
448	0.006085	661,4	0,006010	660,0	0,005937	658,6	458	0,007167	6

Продолжение табл. XXVII																	
$t, ^\circ\text{C}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$	$t, ^\circ\text{C}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$	$t, ^\circ\text{C}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$	
$p=332 \text{ кгс}/\text{см}^2$						$p=334 \text{ кгс}/\text{см}^2$						$p=336 \text{ кгс}/\text{см}^2$					
410	0,002960	533,0	0,002906	530,5	0,002855	528,1	420	0,003629	570,6	0,003563	568,1	0,003498	565,6				
412	0,003134	542,8	0,003073	540,1	0,003016	537,6	422	0,003791	578,4	0,003724	576,0	0,003658	573,6				
414	0,003313	552,3	0,003247	549,6	0,003185	547,0	424	0,003948	586,8	0,003880	584,4	0,003813	581,1				
416	0,003492	561,5	0,003423	558,8	0,003357	556,1	426	0,004100	592,7	0,004031	590,4	0,003964	588,2				
418	0,003668	570,1	0,003597	567,5	0,003529	564,9	428	0,004246	599,2	0,004177	597,0	0,004110	594,9				
420	0,003839	578,2	0,003767	575,6	0,003697	573,1	430	0,004366	605,3	0,004317	603,2	0,004250	601,2				
422	0,004004	586,7	0,003932	583,3	0,003861	580,8	432	0,004521	611,1	0,004453	609,1	0,004385	607,1				
424	0,004162	592,8	0,004090	590,4	0,004018	588,1	434	0,004651	616,5	0,004593	614,6	0,004526	612,7				
426	0,004314	599,4	0,004242	597,2	0,004170	594,9	436	0,004777	621,7	0,004708	619,9	0,004641	618,1				
428	0,004460	605,6	0,004387	603,5	0,004316	601,3	438	0,004898	626,7	0,004830	624,9	0,004763	623,2				
430	0,004599	611,4	0,004527	609,4	0,004456	607,3	440	0,005015	631,4	0,004947	629,7	0,004880	628,0				
432	0,004733	617,0	0,004662	615,0	0,004591	613,0	442	0,005128	635,9	0,005061	634,3	0,004994	632,7				
434	0,004862	622,2	0,004791	620,3	0,004721	618,4	444	0,005238	640,3	0,005171	638,7	0,005104	637,1				
436	0,004986	627,2	0,004916	625,4	0,004846	623,6	446	0,005344	644,5	0,005277	642,9	0,005211	641,4				
438	0,005106	631,9	0,005036	629,2	0,004966	627,4	448	0,005448	648,5	0,005381	647,0	0,005316	645,5				
440	0,005222	636,4	0,005152	634,8	0,005083	633,1	450	0,005549	652,4	0,005492	650,9	0,005417	649,5				
442	0,005335	640,8	0,005265	639,2	0,005196	637,6											
444	0,005444	645,0	0,005374	643,4	0,005306	641,9											
446	0,005550	649,0	0,005480	647,5	0,005412	646,0											
448	0,005652	652,9	0,005583	651,4	0,005515	649,9											
450	0,005755	656,6	0,005684	655,2	0,005616	653,8											
$p=338 \text{ кгс}/\text{см}^2$						$p=340 \text{ кгс}/\text{см}^2$						$p=342 \text{ кгс}/\text{см}^2$					
350	0,001531	383,1	0,001530	383,0	0,001528	382,9	350	0,001527	382,8	0,001526	382,7	0,001524	382,6				
352	0,001543	386,1	0,001542	386,0	0,001540	385,8	352	0,001539	385,7	0,001537	385,6	0,001536	385,5				
354	0,001556	389,1	0,001554	389,0	0,001553	388,8	354	0,001551	388,7	0,001550	388,6	0,001548	388,5				
356	0,001569	392,1	0,001567	392,0	0,001566	391,9	356	0,001564	391,8	0,001563	391,7	0,001561	391,6				
358	0,001583	395,2	0,001581	395,1	0,001579	395,0	358	0,001578	394,9	0,001576	394,7	0,001574	394,6				
360	0,001597	398,4	0,001595	398,3	0,001593	398,1	360	0,001592	398,0	0,001590	397,8	0,001588	397,7				
362	0,001612	401,6	0,001610	401,4	0,001608	401,3	362	0,001606	401,2	0,001604	401,0	0,001602	400,9				
364	0,001628	404,9	0,001626	404,7	0,001623	404,5	364	0,001621	404,4	0,001619	404,2	0,001618	404,1				
366	0,001644	408,2	0,001642	408,0	0,001640	407,8	366	0,001637	407,6	0,001635	407,5	0,001633	407,3				
368	0,001661	411,5	0,001659	411,3	0,001657	411,2	368	0,001654	411,0	0,001652	410,8	0,001650	410,6				
370	0,001680	415,0	0,001677	414,8	0,001675	414,6	370	0,001672	414,4	0,001670	414,2	0,001667	414,0				
372	0,001699	418,5	0,001696	418,3	0,001693	418,1	372	0,001691	417,8	0,001688	417,6	0,001686	417,4				
374	0,001720	422,1	0,001717	421,9	0,001714	421,6	374	0,001711	421,4	0,001708	421,2	0,001705	421,0				
376	0,001742	425,8	0,001738	425,6	0,001735	425,3	376	0,001732	425,0	0,001729	424,8	0,001726	424,6				
378	0,001765	429,6	0,001762	429,4	0,001758	429,1	378	0,001754	428,8	0,001751	428,5	0,001747	428,3				
380	0,001791	433,6	0,001786	433,3	0,001782	433,0	380	0,001779	432,7	0,001775	432,4	0,001771	432,1				
382	0,001818	437,7	0,001813	437,3	0,001809	437,0	382	0,001805	436,6	0,001800	436,3	0,001797	436,0				
384	0,001848	441,9	0,001843	441,5	0,001838	441,1	384	0,001833	440,8	0,001828	440,4	0,001824	440,1				
386	0,001880	446,3	0,001874	445,9	0,001869	445,5	386	0,001863	445,1	0,001858	444,7	0,001853	444,3				
388	0,001916	451,0	0,001909	450,5	0,001903	450,0	388	0,001897	449,5	0,001891	449,1	0,001885	448,7				
390	0,001956	455,8	0,001948	455,3	0,001941	454,7	390	0,001934	454,2	0,001927	453,7	0,001920	453,2				
392	0,002000	461,0	0,001991	460,3	0,001983	459,7	392	0,001974	459,1	0,001967	458,6	0,001959	458,0				
394	0,002050	466,4	0,002039	465,7	0,002029	465,0	394	0,002020	464,3	0,002011	463,7	0,002002	463,0				
396	0,002106	472,2	0,002094	471,3	0,002083	470,5	396	0,002071	470,8	0,002060	470,1	0,002050	469,3				
398	0,002170	478,3	0,002155	477,4	0,002141	476,5	398	0,002128	475,6	0,002115	474,8	0,002103	473,9				
400	0,002233	485,0	0,002226	483,8	0,002209	482,8	400	0,002193	481,8	0,002178	480,8	0,002163	479,9				
402	0,002298	492,1	0,002291	490,8	0,002286	489,6	402	0,002267	488,4	0,002249	487,3	0,002232	486,2				
404	0,002406	499,7	0,002399	498,2	0,002375	496,8	404	0,002352	495,4	0,002340	494,2	0,002329	493,0				
406	0,00258	508,0	0,002506	506,2	0,002476	504,6	406	0,002448	503,0	0,002432	501,5	0,002420	500,1				
408	0,002743	516,7	0,002627	514,7	0,002592	512,8	408	0,002558	511,0	0,002537	509,3	0,002520	507,7				
410	0,002907	525,8	0,002763	523,6	0,002721	521,5	410	0,002681	519,5	0,002665	517,6	0,002640	515,8				
412	0,002962	535,1	0,002911	532,7	0,002863	530,4	412	0,002817	528,3	0,002775	526,2	0,002735	524,1				
414	0,00315	544,4	0,003069	541,9	0,003015	539,5	414	0,002954	537,2	0,002916	534,9	0,002870	532,8				
416	0,003294	553,5	0,003233	551,0	0,003174	548,6	416	0,003118	546,1	0,003065	543,7	0,003011	541,4				
418	0,003462	562,3	0,003398	559,7	0,003336	557,2	418	0,003277	554,8	0,003220	552,4	0,003165	550,0				
420							420	0,003435	563,2	0,003376	560,8	0,003318	558,4				
422							422	0,003594	571,2	0,003531	568,8	0,003471	566,5				
424							424	0,003748	579,8	0,003684	576,5	0,003622	574,2				
426							426	0,003898	588,0	0,003834	583,7	0,003771	581,5				
428							428	0,004043	592,7	0,003978	590,6	0,003915	588,4				

Продолжение табл. X LVII

$t, ^\circ\text{C}$	$\sigma, \text{мПа/кг}$	$\frac{\sigma}{\rho \Delta t}, \text{мПа/кг}$	$\sigma, \text{мПа/кг}$	$\frac{\sigma}{\rho \Delta t}, \text{мПа/кг}$	$\sigma, \text{мПа/кг}$	$\frac{\sigma}{\rho \Delta t}, \text{мПа/кг}$	$t, ^\circ\text{C}$	$\sigma, \text{мПа/кг}$	$\frac{\sigma}{\rho \Delta t}, \text{мПа/кг}$	$\sigma, \text{мПа/кг}$	$\frac{\sigma}{\rho \Delta t}, \text{мПа/кг}$	$t, ^\circ\text{C}$	$\sigma, \text{мПа/кг}$	$\frac{\sigma}{\rho \Delta t}, \text{мПа/кг}$	$\sigma, \text{мПа/кг}$	$\frac{\sigma}{\rho \Delta t}, \text{мПа/кг}$
	$p=344 \text{ кгс/см}^2$		$p=346 \text{ кгс/см}^2$		$p=348 \text{ кгс/см}^2$			$p=350 \text{ кгс/см}^2$		$p=352 \text{ кгс/см}^2$			$p=354 \text{ кгс/см}^2$		$p=356 \text{ кгс/см}^2$	
430	0,004183	599,1	0,004118	597,0	0,004054	594,9	440	0,0041623	621,2	0,00461	619,4	0,004500	617,8			
432	0,004319	607,1	0,004253	603,1	0,004189	601,1	442	0,0041737	625,1	0,004675	624,4	0,004614	622,7			
434	0,004449	610,8	0,004384	608,9	0,004320	607,0	444	0,004848	630,7	0,004785	629,1	0,004725	627,5			
436	0,004575	616,2	0,004510	614,4	0,004446	612,5	446	0,004946	635,2	0,004894	633,7	0,004833	632,1			
438	0,004697	621,4	0,004632	619,6	0,004568	617,8	448	0,005061	639,5	0,004931	633,0	0,004938	636,5			
440	0,004815	626,3	0,004750	624,6	0,004686	622,9	450	0,005163	643,7	0,005101	642,2	0,005140	640,8			
442	0,004920	631,0	0,004864	629,4	0,004800	627,7										
444	0,005039	635,5	0,004975	633,9	0,004911	632,3		$p=356 \text{ кгс/см}^2$		$p=358 \text{ кгс/см}^2$		$p=360 \text{ кгс/см}^2$				
446	0,005146	639,9	0,005082	638,3	0,005019	636,8	350	0,0051519	382,2	0,0051518	382,1	0,0051517	382,0			
448	0,005251	644,0	0,005186	642,5	0,005123	641,0	352	0,0051581	385,1	0,0051529	385,0	0,0051528	384,9			
450	0,005352	648,1	0,005288	646,6	0,005225	645,2	354	0,0051543	388,1	0,0051541	388,0	0,0051540	387,9			
							356	0,0051555	391,1	0,0051551	391,0	0,0051552	390,8			
							358	0,0051568	394,1	0,0051566	394,0	0,0051565	393,9			
	$p=350 \text{ кгс/см}^2$		$p=352 \text{ кгс/см}^2$		$p=354 \text{ кгс/см}^2$											
360	0,001523	382,5	0,001522	382,4	0,001520	382,3	360	0,001581	397,2	0,001580	397,1	0,001578	396,9			
362	0,001535	385,4	0,001533	385,3	0,001532	385,2	362	0,001585	400,3	0,001584	400,2	0,001582	400,0			
364	0,001547	388,4	0,001545	388,3	0,001544	388,2	364	0,001610	403,3	0,001608	403,2	0,001606	403,0			
366	0,001560	391,1	0,001558	391,3	0,001557	391,2	366	0,001625	406,7	0,001623	406,5	0,001621	406,4			
368	0,001573	394,5	0,001571	394,4	0,001570	394,2	368	0,001641	409,9	0,001639	409,8	0,001637	409,6			
360	0,001586	397,6	0,001585	397,4	0,001583	397,3	370	0,001658	413,2	0,001655	413,1	0,001653	412,9			
362	0,001601	400,7	0,001599	400,6	0,001597	400,1	372	0,001675	416,5	0,001673	416,4	0,001671	416,2			
364	0,001616	403,9	0,001614	403,8	0,001612	403,6	374	0,001691	420,1	0,001691	419,9	0,001689	419,7			
366	0,001631	407,1	0,001629	407,0	0,001627	406,8	376	0,001714	423,6	0,001711	423,4	0,001708	423,2			
368	0,001648	410,4	0,001645	410,3	0,001643	410,1	378	0,001734	427,2	0,001731	427,0	0,001728	426,8			
370	0,001665	413,8	0,001662	413,6	0,001660	413,4	380	0,001757	431,0	0,001753	430,7	0,001750	430,4			
372	0,001683	417,2	0,001680	417,6	0,001678	416,8	382	0,001780	434,8	0,001777	434,4	0,001773	434,2			
374	0,001702	420,7	0,001699	420,5	0,001697	420,3	384	0,001806	438,7	0,001802	438,4	0,001798	438,1			
376	0,001722	424,3	0,001719	424,1	0,001716	423,8	386	0,001833	442,8	0,001829	442,4	0,001824	442,1			
378	0,001741	428,0	0,001741	427,7	0,001738	427,5	388	0,001863	447,0	0,001858	446,6	0,001853	446,2			
390	0,001767	431,6	0,001764	431,5	0,001760	431,2	390	0,001885	451,4	0,001889	451,0	0,001884	450,5			
392	0,001792	435,7	0,001788	435,4	0,001784	435,1	392	0,001913	455,0	0,001924	455,5	0,001918	455,0			
394	0,001819	439,7	0,001814	439,4	0,001810	439,0	394	0,001969	460,7	0,001962	460,2	0,001955	460,7			
396	0,001948	443,9	0,001843	443,5	0,001838	443,2	396	0,002012	465,7	0,002004	465,1	0,001995	464,5			
398	0,001979	448,2	0,001874	447,8	0,001868	447,4	398	0,002060	471,0	0,002050	470,3	0,002040	469,6			
390	0,001914	452,8	0,001907	452,3	0,001901	451,8	400	0,002112	476,5	0,002101	475,7	0,002090	475,0			
392	0,001951	457,1	0,001944	457,0	0,001937	456,5	402	0,002171	482,3	0,002158	481,5	0,002145	480,6			
394	0,001993	462,4	0,001985	461,9	0,001977	461,3	404	0,002238	488,5	0,002222	487,5	0,002207	486,6			
396	0,002040	467,7	0,002030	467,0	0,002021	466,4	406	0,002312	495,1	0,002294	493,9	0,002276	492,9			
398	0,002092	473,2	0,002081	472,1	0,002070	471,7	408	0,002396	502,1	0,002374	500,7	0,002354	499,1			
400	0,002150	479,0	0,002137	478,1	0,002124	477,3	410	0,002491	509,3	0,002465	507,8	0,002440	506,5			
402	0,002216	485,2	0,002200	484,2	0,002185	483,3	412	0,002595	516,9	0,002568	515,3	0,002537	513,8			
404	0,002290	491,8	0,002272	490,6	0,002254	489,6	414	0,002711	524,9	0,002676	523,1	0,002643	521,4			
406	0,002374	498,7	0,002355	497,5	0,002335	496,2	416	0,002836	533,0	0,002796	531,1	0,002759	529,3			
408	0,002470	506,2	0,002444	505,1	0,002420	503,3	418	0,002968	541,3	0,002925	539,2	0,002883	537,3			
410	0,002577	514,0	0,002547	512,4	0,002518	510,8	420	0,003107	549,5	0,003059	547,4	0,003014	545,3			
412	0,002697	522,2	0,002661	520,4	0,002627	518,6	422	0,003249	557,5	0,003198	555,3	0,003149	553,2			
414	0,002827	530,7	0,002786	528,7	0,002747	526,7	424	0,003392	565,3	0,003338	563,1	0,003287	561,0			
416	0,002965	539,2	0,002920	537,1	0,002877	535,0	426	0,003534	572,8	0,003478	570,6	0,003425	568,5			
418	0,003112	547,8	0,003062	545,5	0,003011	543,4	428	0,003674	579,3	0,003617	577,8	0,003562	575,7			
420	0,003262	556,1	0,003208	553,8	0,003156	551,6	430	0,003811	586,7	0,003753	584,6	0,003696	582,6			
422	0,003413	564,2	0,003356	561,9	0,003301	559,7	432	0,003944	593,1	0,003886	591,2	0,003828	589,2			
424	0,003562	571,9	0,003504	569,7	0,003447	567,5	434	0,004073	599,3	0,004015	597,4	0,003957	595,4			
426	0,003709	579,3	0,003649	577,1	0,003591	574,9	436	0,004195	605,1	0,004131	603,3	0,004072	601,4			
428	0,003852	586,3	0,003791	584,1	0,003732	582,0	438	0,004321	610,7	0,004262	608,9	0,004204	607,1			
430	0,003991	592,9	0,003930	590,8	0,003870	588,7	440	0,004439	616,0	0,004380	614,2	0,004322	612,5			
432	0,004126	599,1	0,004064	597,1	0,004003	595,1	442	0,004574	621,0	0,004515	619,4	0,004456	617,7			
434	0,004257	605,1	0,004194	603,1	0,004133	601,2	444	0,004655	625,9	0,004606	624,3	0,004547	622,6			
436	0,004382	610,7	0,004320	608,8	0,004259	607,0	446	0,004773	630,5	0,004714	629,0	0,004653	627,4			
438	0,004505	616,1	0,004442	614,3	0,004381	612,5	448	0,004878	635,0	0,004819	633,5	0,004760	632,0			
							450	0,004980	639,3	0,004921	637,8	0,004863	636,3			

$t, ^\circ\text{C}$	$\sigma, \text{МПа}$	$\epsilon, \text{мм/мм}$	$\sigma, \text{МПа}$	$\epsilon, \text{мм/мм}$	$\sigma, \text{МПа}$	$\epsilon, \text{мм/мм}$	$t, ^\circ\text{C}$	$\sigma, \text{МПа}$	$\epsilon, \text{мм/мм}$	$\sigma, \text{МПа}$	$\epsilon, \text{мм/мм}$	$\sigma, \text{МПа}$	$\epsilon, \text{мм/мм}$
	$p=362 \text{ кгс/см}^2$		$p=364 \text{ кгс/см}^2$		$p=366 \text{ кгс/см}^2$			$p=368 \text{ кгс/см}^2$		$p=370 \text{ кгс/см}^2$		$p=372 \text{ кгс/см}^2$	
350	0,001515	381,9	0,001514	381,8	0,001513	381,7	360	0,001572	396,4	0,001570	396,3	0,001569	396,2
352	0,001527	384,8	0,001526	384,7	0,001524	384,6	362	0,001585	399,5	0,001583	399,4	0,001582	399,2
354	0,001539	387,8	0,001537	387,7	0,001536	387,6	364	0,001599	402,6	0,001597	402,5	0,001595	402,3
356	0,001551	390,7	0,001549	390,6	0,001548	390,5	366	0,001613	405,8	0,001612	405,6	0,001610	405,5
358	0,001563	393,8	0,001562	393,6	0,001560	393,5	368	0,001629	409,0	0,001627	408,8	0,001625	408,6
360	0,001576	396,8	0,001575	396,7	0,001573	396,6	370	0,001644	412,2	0,001642	412,0	0,001640	411,9
362	0,001590	399,9	0,001588	399,8	0,001587	399,6	372	0,001661	415,5	0,001659	415,3	0,001657	415,2
364	0,001604	403,0	0,001603	402,9	0,001601	402,7	374	0,001679	418,9	0,001676	418,7	0,001674	418,5
366	0,001619	406,2	0,001617	406,1	0,001615	405,9	376	0,001697	422,3	0,001694	422,1	0,001692	421,9
368	0,001635	409,4	0,001633	409,3	0,001631	409,1	378	0,001716	425,8	0,001713	425,6	0,001711	425,4
370	0,001651	412,7	0,001649	412,5	0,001647	412,4	380	0,001737	429,4	0,001734	429,2	0,001731	428,9
372	0,001668	416,1	0,001666	415,9	0,001663	415,7	382	0,001759	433,1	0,001756	432,8	0,001752	432,6
374	0,001686	419,5	0,001684	419,3	0,001681	419,1	384	0,001782	436,9	0,001778	436,6	0,001775	436,3
376	0,001705	423,0	0,001702	422,7	0,001700	422,5	386	0,001807	440,8	0,001803	440,5	0,001800	440,2
378	0,001725	426,5	0,001722	426,3	0,001719	426,1	388	0,001834	444,8	0,001829	444,5	0,001825	444,1
380	0,001746	430,2	0,001743	429,9	0,001740	429,7	390	0,001863	449,0	0,001858	448,6	0,001853	448,2
382	0,001769	433,9	0,001766	433,6	0,001762	433,4	392	0,001894	453,3	0,001888	452,9	0,001883	452,4
384	0,001794	437,8	0,001790	437,5	0,001786	437,2	394	0,001928	457,7	0,001922	457,3	0,001915	456,8
386	0,001820	441,8	0,001815	441,4	0,001811	441,1	396	0,001966	462,4	0,001958	461,9	0,001951	461,4
388	0,001848	445,9	0,001843	445,5	0,001835	445,2	398	0,002005	467,2	0,001993	466,6	0,001990	466,1
390	0,001878	450,1	0,001873	449,7	0,001868	449,3	400	0,002050	472,3	0,002041	471,6	0,002032	471,0
392	0,001911	454,6	0,001905	454,1	0,001900	453,7	402	0,002099	477,6	0,002089	476,9	0,002078	476,2
394	0,001948	459,2	0,001941	458,7	0,001934	458,2	404	0,002153	483,1	0,002141	482,3	0,002130	482,6
396	0,001987	464,0	0,001980	463,4	0,001972	462,9	406	0,002214	488,9	0,002200	488,1	0,002186	487,2
398	0,002031	469,0	0,002022	468,4	0,002014	467,8	408	0,002281	495,1	0,002264	494,1	0,002249	493,1
400	0,002079	474,3	0,002069	473,6	0,002059	472,9	410	0,002355	501,5	0,002333	500,4	0,002318	499,3
402	0,002133	479,8	0,002121	479,0	0,002110	478,3	412	0,002433	508,2	0,002416	507,0	0,002395	505,8
404	0,002193	485,7	0,002179	484,8	0,002166	483,9	414	0,002529	515,3	0,002503	513,9	0,002480	512,5
406	0,002259	491,8	0,002243	490,8	0,002229	489,9	416	0,002638	522,6	0,002600	521,0	0,002572	519,6
408	0,002334	498,3	0,002315	497,2	0,002298	496,1	418	0,002733	530,1	0,002704	528,4	0,002673	525,8
410	0,002417	505,1	0,002396	503,9	0,002375	502,7	420	0,002851	537,7	0,002815	535,9	0,002781	534,2
412	0,002510	512,3	0,002485	510,9	0,002460	509,5	422	0,002977	546,3	0,002933	543,5	0,002895	541,7
414	0,002612	519,8	0,002583	518,2	0,002553	516,7	424	0,003098	555,9	0,003055	553,0	0,003014	550,5
416	0,002724	527,0	0,002690	525,5	0,002659	524,2	426	0,003226	566,4	0,003181	563,4	0,003137	560,5
418	0,002844	534,4	0,002805	532,5	0,002770	531,8	428	0,003366	576,6	0,003320	573,5	0,003276	570,8
420	0,002970	543,3	0,002925	541,4	0,002883	539,5	430	0,003465	574,7	0,003435	572,7	0,003387	570,6
422	0,003102	551,2	0,003057	549,2	0,003014	547,2	432	0,003612	584,4	0,003561	579,5	0,003512	577,6
424	0,003237	559,9	0,003189	557,9	0,003145	554,9	434	0,003738	587,8	0,003686	586,0	0,003635	584,1
426	0,003373	568,4	0,003322	566,4	0,003274	562,4	436	0,003850	594,0	0,003808	592,2	0,003756	590,4
428	0,003505	577,7	0,003455	575,6	0,003405	569,6	438	0,003950	603,9	0,003907	601,3	0,003855	598,3
430	0,003641	586,6	0,003588	584,6	0,003533	576,6	440	0,004057	605,9	0,004044	603,8	0,003991	602,1
432	0,003772	597,2	0,003718	595,3	0,003661	583,3	442	0,004211	610,9	0,004157	609,3	0,004104	607,6
434	0,003909	609,5	0,003845	607,6	0,003781	595,7	444	0,004320	616,1	0,004268	614,5	0,004214	612,8
436	0,004025	619,6	0,003959	617,7	0,003914	605,9	446	0,004430	621,1	0,004375	619,5	0,004322	617,9
438	0,004146	630,3	0,004080	628,5	0,004035	621,7	448	0,004535	625,8	0,004480	624,3	0,004427	622,7
440	0,004264	640,8	0,004200	639,0	0,004152	637,3	450	0,004637	630,4	0,004582	628,9	0,004523	627,4
442	0,004378	646,0	0,004322	644,3	0,004266	642,6							
444	0,004493	651,0	0,004435	649,4	0,004377	647,7							
446	0,004609	656,1	0,004549	654,5	0,004494	652,6							
448	0,004703	660,4	0,004646	658,9	0,004590	657,4							
450	0,004805	663,9	0,004743	662,3	0,004692	661,9							
	$p=368 \text{ кгс/см}^2$		$p=370 \text{ кгс/см}^2$		$p=372 \text{ кгс/см}^2$								
350	0,001512	381,6	0,001511	381,5	0,001509	381,5	350	0,001508	381,4	0,001507	381,3	0,001506	381,2
352	0,001523	384,5	0,001522	384,4	0,001520	384,3	352	0,001519	384,2	0,001518	384,2	0,001517	384,1
354	0,001535	387,5	0,001533	387,4	0,001532	387,3	354	0,001531	387,2	0,001529	387,1	0,001528	387,0
356	0,001546	390,4	0,001545	390,4	0,001544	390,2	356	0,001542	390,1	0,001541	390,0	0,001540	389,9
358	0,001559	393,4	0,001557	393,3	0,001556	393,2	358	0,001554	393,1	0,001553	393,0	0,001552	392,9
360	0,001567	396,3	0,001566	396,2	0,001565	396,1	360	0,001567	396,1	0,001566	396,0	0,001565	395,9
362	0,001579	399,3	0,001578	399,2	0,001577	399,1	362	0,001579	399,1	0,001578	399,0	0,001577	398,9
364	0,001591	402,3	0,001590	402,2	0,001589	402,1	364	0,001591	402,2	0,001590	402,1	0,001589	402,0
366	0,001603	405,3	0,001602	405,2	0,001601	405,1	366	0,001603	405,3	0,001602	405,2	0,001601	405,1
368	0,001615	408,3	0,001614	408,2	0,001613	408,1	368	0,001615	408,3	0,001614	408,2	0,001613	408,1

Продолжение табл. X XVII

$t, ^\circ$	$\nu, \text{м/сек}$	$i, \text{км/д/сек}$	$\nu, \text{м/сек}$	$i, \text{км/д/сек}$	$\nu, \text{м/сек}$	$i, \text{км/д/сек}$	$t, ^\circ$	$\nu, \text{м/сек}$	$i, \text{км/д/сек}$	$\nu, \text{м/сек}$	$i, \text{км/д/сек}$
	$p=374 \text{ кгс/см}^2$		$p=7 \text{ с/см}$		$p=78 \text{ /к}^2$		$p=380 \text{ кгс/см}^2$		$p=33 \text{ кгс, м}^2$		$p=334 \text{ кг, м}^2$
370	0,001653	411,7	0,00	411,7	0,0013	411	380	0,001719	428,0	0,001716	427,8
371	0,001654	411,8	0,00	411,8	0,0013	411,8	381	0,001720	428,1	0,001717	427,9
372	0,001655	411,9	0,00	411,9	0,0013	411,9	382	0,001721	428,2	0,001718	428,0
373	0,001656	412,0	0,00	412,0	0,0013	412,0	383	0,001722	428,3	0,001719	428,1
374	0,001657	412,1	0,00	412,1	0,0013	412,1	384	0,001723	428,4	0,001720	428,2
375	0,001658	412,2	0,00	412,2	0,0013	412,2	385	0,001724	428,5	0,001721	428,3
376	0,001659	412,3	0,00	412,3	0,0013	412,3	386	0,001725	428,6	0,001722	428,4
377	0,001660	412,4	0,00	412,4	0,0013	412,4	387	0,001726	428,7	0,001723	428,5
378	0,001661	412,5	0,00	412,5	0,0013	412,5	388	0,001727	428,8	0,001724	428,6
379	0,001662	412,6	0,00	412,6	0,0013	412,6	389	0,001728	428,9	0,001725	428,7
380	0,001663	412,7	0,00	412,7	0,0013	412,7	390	0,001729	429,0	0,001726	428,8
381	0,001664	412,8	0,00	412,8	0,0013	412,8	391	0,001730	429,1	0,001727	428,9
382	0,001665	412,9	0,00	412,9	0,0013	412,9	392	0,001731	429,2	0,001728	429,0
383	0,001666	413,0	0,00	413,0	0,0013	413,0	393	0,001732	429,3	0,001729	429,1
384	0,001667	413,1	0,00	413,1	0,0013	413,1	394	0,001733	429,4	0,001730	429,2
385	0,001668	413,2	0,00	413,2	0,0013	413,2	395	0,001734	429,5	0,001731	429,3
386	0,001669	413,3	0,00	413,3	0,0013	413,3	396	0,001735	429,6	0,001732	429,4
387	0,001670	413,4	0,00	413,4	0,0013	413,4	397	0,001736	429,7	0,001733	429,5
388	0,001671	413,5	0,00	413,5	0,0013	413,5	398	0,001737	429,8	0,001734	429,6
389	0,001672	413,6	0,00	413,6	0,0013	413,6	399	0,001738	429,9	0,001735	429,7
390	0,001673	413,7	0,00	413,7	0,0013	413,7	400	0,001739	430,0	0,001736	429,8
391	0,001674	413,8	0,00	413,8	0,0013	413,8	401	0,001740	430,1	0,001737	429,9
392	0,001675	413,9	0,00	413,9	0,0013	413,9	402	0,001741	430,2	0,001738	430,0
393	0,001676	414,0	0,00	414,0	0,0013	414,0	403	0,001742	430,3	0,001739	430,1
394	0,001677	414,1	0,00	414,1	0,0013	414,1	404	0,001743	430,4	0,001740	430,2
395	0,001678	414,2	0,00	414,2	0,0013	414,2	405	0,001744	430,5	0,001741	430,3
396	0,001679	414,3	0,00	414,3	0,0013	414,3	406	0,001745	430,6	0,001742	430,4
397	0,001680	414,4	0,00	414,4	0,0013	414,4	407	0,001746	430,7	0,001743	430,5
398	0,001681	414,5	0,00	414,5	0,0013	414,5	408	0,001747	430,8	0,001744	430,6
399	0,001682	414,6	0,00	414,6	0,0013	414,6	409	0,001748	430,9	0,001745	430,7
400	0,001683	414,7	0,00	414,7	0,0013	414,7	410	0,001749	431,0	0,001746	430,8
401	0,001684	414,8	0,00	414,8	0,0013	414,8	411	0,001750	431,1	0,001747	430,9
402	0,001685	414,9	0,00	414,9	0,0013	414,9	412	0,001751	431,2	0,001748	431,0
403	0,001686	415,0	0,00	415,0	0,0013	415,0	413	0,001752	431,3	0,001749	431,1
404	0,001687	415,1	0,00	415,1	0,0013	415,1	414	0,001753	431,4	0,001750	431,2
405	0,001688	415,2	0,00	415,2	0,0013	415,2	415	0,001754	431,5	0,001751	431,3
406	0,001689	415,3	0,00	415,3	0,0013	415,3	416	0,001755	431,6	0,001752	431,4
407	0,001690	415,4	0,00	415,4	0,0013	415,4	417	0,001756	431,7	0,001753	431,5
408	0,001691	415,5	0,00	415,5	0,0013	415,5	418	0,001757	431,8	0,001754	431,6
409	0,001692	415,6	0,00	415,6	0,0013	415,6	419	0,001758	431,9	0,001755	431,7
410	0,001693	415,7	0,00	415,7	0,0013	415,7	420	0,001759	432,0	0,001756	431,8
411	0,001694	415,8	0,00	415,8	0,0013	415,8	421	0,001760	432,1	0,001757	431,9
412	0,001695	415,9	0,00	415,9	0,0013	415,9	422	0,001761	432,2	0,001758	432,0
413	0,001696	416,0	0,00	416,0	0,0013	416,0	423	0,001762	432,3	0,001759	432,1
414	0,001697	416,1	0,00	416,1	0,0013	416,1	424	0,001763	432,4	0,001760	432,2
415	0,001698	416,2	0,00	416,2	0,0013	416,2	425	0,001764	432,5	0,001761	432,3
416	0,001699	416,3	0,00	416,3	0,0013	416,3	426	0,001765	432,6	0,001762	432,4
417	0,001700	416,4	0,00	416,4	0,0013	416,4	427	0,001766	432,7	0,001763	432,5
418	0,001701	416,5	0,00	416,5	0,0013	416,5	428	0,001767	432,8	0,001764	432,6
419	0,001702	416,6	0,00	416,6	0,0013	416,6	429	0,001768	432,9	0,001765	432,7
420	0,001703	416,7	0,00	416,7	0,0013	416,7	430	0,001769	433,0	0,001766	432,8
421	0,001704	416,8	0,00	416,8	0,0013	416,8	431	0,001770	433,1	0,001767	432,9
422	0,001705	416,9	0,00	416,9	0,0013	416,9	432	0,001771	433,2	0,001768	433,0
423	0,001706	417,0	0,00	417,0	0,0013	417,0	433	0,001772	433,3	0,001769	433,1
424	0,001707	417,1	0,00	417,1	0,0013	417,1	434	0,001773	433,4	0,001770	433,2
425	0,001708	417,2	0,00	417,2	0,0013	417,2	435	0,001774	433,5	0,001771	433,3
426	0,001709	417,3	0,00	417,3	0,0013	417,3	436	0,001775	433,6	0,001772	433,4
427	0,001710	417,4	0,00	417,4	0,0013	417,4	437	0,001776	433,7	0,001773	433,5
428	0,001711	417,5	0,00	417,5	0,0013	417,5	438	0,001777	433,8	0,001774	433,6
429	0,001712	417,6	0,00	417,6	0,0013	417,6	439	0,001778	433,9	0,001775	433,7
430	0,001713	417,7	0,00	417,7	0,0013	417,7	440	0,001779	434,0	0,001776	433,8
431	0,001714	417,8	0,00	417,8	0,0013	417,8	441	0,001780	434,1	0,001777	433,9
432	0,001715	417,9	0,00	417,9	0,0013	417,9	442	0,001781	434,2	0,001778	434,0
433	0,001716	418,0	0,00	418,0	0,0013	418,0	443	0,001782	434,3	0,001779	434,1
434	0,001717	418,1	0,00	418,1	0,0013	418,1	444	0,001783	434,4	0,001780	434,2
435	0,001718	418,2	0,00	418,2	0,0013	418,2	445	0,001784	434,5	0,001781	434,3
436	0,001719	418,3	0,00	418,3	0,0013	418,3	446	0,001785	434,6	0,001782	434,4
437	0,001720	418,4	0,00	418,4	0,0013	418,4	447	0,001786	434,7	0,001783	434,5
438	0,001721	418,5	0,00	418,5	0,0013	418,5	448	0,001787	434,8	0,001784	434,6
439	0,001722	418,6	0,00	418,6	0,0013	418,6	449	0,001788	434,9	0,001785	434,7
440	0,001723	418,7	0,00	418,7	0,0013	418,7	450	0,001789	435,0	0,001786	434,8
441	0,001724	418,8	0,00	418,8	0,0013	418,8					
442	0,001725	418,9	0,00	418,9	0,0013	418,9					
443	0,001726	419,0	0,00	419,0	0,0013	419,0					
444	0,001727	419,1	0,00	419,1	0,0013	419,1					
445	0,001728	419,2	0,00	419,2	0,0013	419,2					
446	0,001729	419,3	0,00	419,3	0,0013	419,3					
447	0,001730	419,4	0,00	419,4	0,0013	419,4					
448	0,001731	419,5	0,00	419,5	0,0013	419,5					
449	0,001732	419,6	0,00	419,6	0,0013	419,6					
450	0,001733	419,7	0,00	419,7	0,0013	419,7					
451	0,001734	419,8	0,00	419,8	0,0013	419,8					
452	0,001735	419,9	0,00	419,9	0,0013	419,9					
453	0,001736	420,0	0,00	420,0	0,0013	420,0					
454	0,001737	420,1	0,00	420,1	0,0013	420,1					
455	0,001738	420,2	0,00	420,2	0,0013	420,2					
456	0,001739	420,3	0,00	420,3	0,0013	420,3					
457	0,001740	420,4	0,00	420,4	0,0013	420,4					
458	0,001741	420,5	0,00	420,5	0,0013	420,5					
459	0,001742	420,6	0,00	420,6	0,0013	420,6					
460	0,001743	420,7	0,00	420,7	0,0013	420,7					
461	0,001744	420,8	0,00	420,8	0,0013	420,8					
462	0,001745	420,9	0,00	420,9	0,0013	420,9					
463	0,001746	421,0	0,00	421,0	0,0013	421,0					
464	0,001747	421,1	0,00	421,1	0,0013	421,1					
465	0,001748	421,2	0,00	421,2	0,0013	421,2					
466	0,001749	421,3	0,00	421,3	0,0013	421,3					
467	0,001750	421,4	0,00	421,4	0,0013	421,4					
468	0,001751	421,5	0,00	421,5	0,0013	421					

Продолжение табл. X XVII

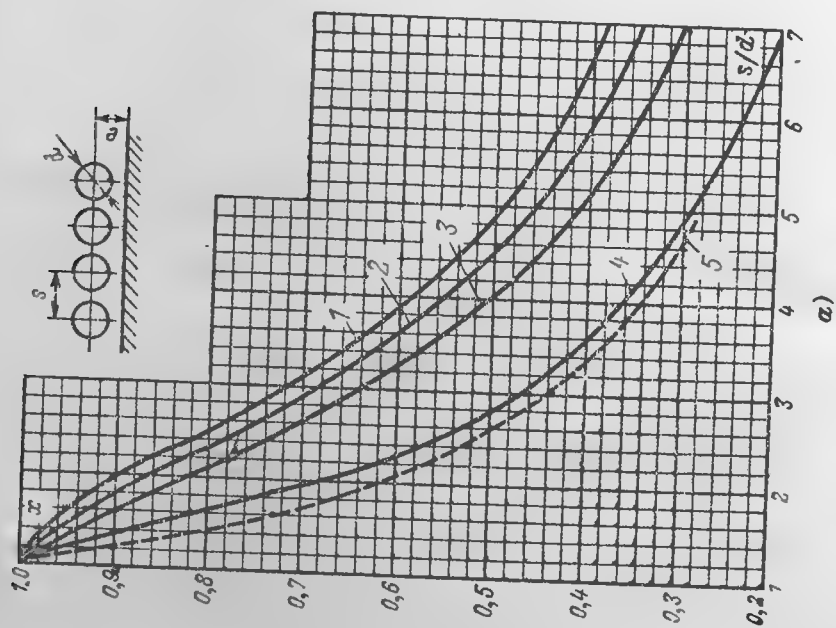
$t, ^\circ\text{C}$	$\nu, \text{м}^2/\text{сек}$	$i, \text{ккал/кг}$	$\nu, \text{м}^2/\text{сек}$	$i, \text{ккал/кг}$	$\nu, \text{м}^2/\text{сек}$	$i, \text{ккал/кг}$	$t, ^\circ\text{C}$	$\nu, \text{м}^2/\text{сек}$	$i, \text{ккал/кг}$	$t, ^\circ\text{C}$	$\nu, \text{м}^2/\text{сек}$	$i, \text{ккал/кг}$	$t, ^\circ\text{C}$	$\nu, \text{м}^2/\text{сек}$	$i, \text{ккал/кг}$
	$p=386 \text{ кгс/см}^2$		$p=388 \text{ кгс/см}^2$		$p=390 \text{ кгс/см}^2$			$p=392 \text{ кгс/см}^2$		$p=394 \text{ кгс/см}^2$		$p=396 \text{ кгс/см}^2$			
390	0,001822	445,9	0,001817	445,5	0,001813	445,2	370	0,001621	410,3	0,001619	410,2	0,001617	410,0		
392	0,001843	449,9	0,001844	449,5	0,001839	449,2	372	0,001636	413,5	0,001634	413,4	0,001632	413,2		
394	0,001877	454,0	0,001872	453,6	0,001867	453,2	374	0,001651	416,7	0,001649	416,5	0,001647	416,4		
396	0,001908	458,2	0,001902	457,8	0,001897	457,4	376	0,001668	420,0	0,001665	419,8	0,001663	419,7		
398	0,001941	462,6	0,001935	462,2	0,001929	461,7	378	0,001685	423,4	0,001682	423,2	0,001680	423,0		
400	0,001977	467,2	0,001970	466,7	0,001964	466,2	380	0,001703	426,8	0,001700	426,6	0,001698	426,4		
402	0,002017	471,9	0,002009	471,4	0,002001	470,8	382	0,001722	430,2	0,001719	430,0	0,001716	429,8		
404	0,002059	476,8	0,002051	476,2	0,002042	475,6	384	0,001742	433,8	0,001739	433,5	0,001736	433,3		
406	0,002106	481,9	0,002096	481,2	0,002086	480,6	386	0,001763	437,4	0,001760	437,2	0,001757	436,9		
408	0,002157	487,2	0,002146	486,5	0,002135	485,8	388	0,001786	441,1	0,001782	440,9	0,001779	440,6		
410	0,002213	492,8	0,002200	491,9	0,002188	491,1	390	0,001809	444,9	0,001806	444,6	0,001802	444,3		
412	0,002274	498,5	0,002259	497,6	0,002245	496,7	392	0,001835	448,8	0,001831	448,5	0,001827	448,2		
414	0,002340	504,5	0,002324	503,5	0,002308	502,5	394	0,001862	452,9	0,001858	452,5	0,001853	452,2		
416	0,002413	510,7	0,002395	509,6	0,002376	508,5	396	0,001892	457,0	0,001886	456,6	0,001881	456,3		
418	0,002493	517,1	0,002471	515,9	0,002451	514,6	398	0,001923	461,3	0,001917	460,8	0,001912	460,5		
420	0,002579	523,8	0,002555	522,5	0,002532	521,2	400	0,001957	465,7	0,001951	465,3	0,001945	464,8		
422	0,002671	530,5	0,002644	529,1	0,002618	527,8	402	0,001994	470,3	0,001987	469,8	0,001980	469,3		
424	0,002763	537,4	0,002739	536,0	0,002710	534,5	404	0,002034	475,1	0,002026	474,5	0,002018	474,0		
426	0,002871	544,4	0,002839	542,8	0,002808	541,3	406	0,002077	480,0	0,002068	479,4	0,002060	478,8		
428	0,002987	551,3	0,002943	549,7	0,002910	548,1	408	0,002124	485,1	0,002114	484,4	0,002104	483,7		
430	0,003088	558,2	0,003051	556,5	0,003015	554,9	410	0,002176	490,4	0,002164	489,0	0,002153	488,9		
432	0,003200	565,0	0,003161	563,3	0,003123	561,6	412	0,002232	495,9	0,002219	495,1	0,002206	494,3		
434	0,003313	571,6	0,003272	569,9	0,003232	568,2	414	0,002293	501,6	0,002278	500,7	0,002264	499,8		
436	0,003426	578,0	0,003383	576,3	0,003342	574,6	416	0,002359	507,5	0,002343	506,5	0,002327	505,6		
438	0,003539	584,2	0,003494	582,5	0,003452	580,8	418	0,002432	513,7	0,002413	512,6	0,002395	511,5		
440	0,003649	590,2	0,003604	588,5	0,003560	586,9	420	0,002510	520,0	0,002488	518,8	0,002468	517,7		
442	0,003758	595,9	0,003713	594,3	0,003668	592,7	422	0,002594	526,5	0,002570	525,2	0,002547	524,0		
444	0,003866	601,5	0,003819	599,9	0,003774	598,3	424	0,002683	533,1	0,002657	531,7	0,002632	530,4		
446	0,003971	606,8	0,003924	605,3	0,003879	603,7	426	0,002778	539,8	0,002749	538,4	0,002722	537,0		
448	0,004074	612,0	0,004026	610,5	0,003980	608,9	428	0,002877	546,6	0,002846	545,1	0,002818	543,6		
450	0,004174	616,9	0,004127	615,3	0,004080	614,0	430	0,002980	553,3	0,002947	551,7	0,002914	550,2		
	$p=392 \text{ кгс/см}^2$		$p=394 \text{ кгс/см}^2$		$p=396 \text{ кгс/см}^2$		432	0,003086	560,0	0,003050	558,4	0,003015	556,8		
350	0,001496	380,6	0,001497	380,5	0,001496	380,5	434	0,003193	566,5	0,003156	564,9	0,003119	563,3		
352	0,001509	383,3	0,001503	383,4	0,001506	383,3	436	0,003301	572,9	0,003262	571,3	0,003224	569,7		
354	0,001530	389,2	0,001518	386,2	0,001528	389,0	438	0,003410	579,2	0,003369	577,5	0,003339	575,9		
356	0,001530	389,2	0,001529	389,1	0,001528	389,0	440	0,003517	585,2	0,003476	583,6	0,003435	582,0		
358	0,001542	392,1	0,001541	392,0	0,001539	391,9	442	0,003624	591,7	0,003581	589,5	0,003539	587,9		
360	0,001554	395,1	0,001552	395,0	0,001551	394,9	444	0,003729	598,1	0,003686	595,2	0,003643	593,6		
362	0,001566	398,1	0,001565	397,9	0,001563	397,8	446	0,003833	602,2	0,003788	600,9	0,003745	599,1		
364	0,001579	401,1	0,001577	400,9	0,001576	400,8	448	0,003934	607,4	0,003889	605,9	0,003845	604,4		
366	0,001592	404,1	0,001591	404,0	0,001589	403,9	450	0,004034	612,5	0,003989	611,0	0,003944	609,5		
368	0,001606	407,2	0,001604	407,1	0,001603	406,9									

Продолжение табл. XXVII

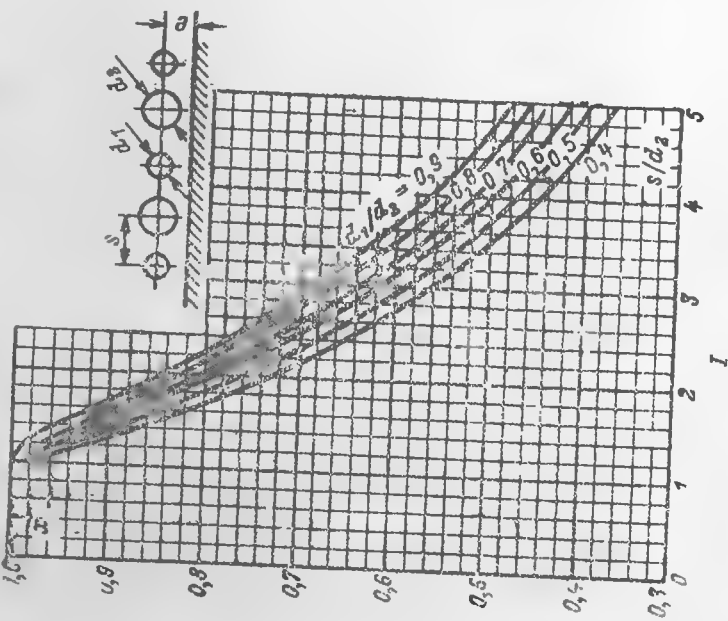
$t, ^\circ\text{C}$	$\nu, \text{м}^2/\text{сек}$	$i, \text{ккал/кг}$	$t, ^\circ\text{C}$	$\nu, \text{м}^2/\text{сек}$	$i, \text{ккал/кг}$	$t, ^\circ\text{C}$	$\nu, \text{м}^2/\text{сек}$	$i, \text{ккал/кг}$
	$p=398 \text{ кгс/см}^2$			$p=398 \text{ кгс/см}^2$			$p=398 \text{ кгс/см}^2$	
350	0,001495	380,4	360	0,001550	394,8	370	0,001615	409,9
352	0,001505	383,2	362	0,001562	397,7	372	0,001630	413,1
354	0,001516	386,0	364	0,001574	400,7	374	0,001645	416,2
356	0,001527	388,9	366	0,001587	403,7	376	0,001661	419,5
358	0,001538	391,8	368	0,001601	406,8	378	0,001678	422,8

Продолжение табл. XXVII

$t, ^\circ\text{C}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$	$t, ^\circ\text{C}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$	$t, ^\circ\text{C}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ккал}/\text{кг}$
$\rho=398 \text{ кгс}/\text{см}^3$			$\rho=398 \text{ кгс}/\text{см}^3$			$\rho=398 \text{ кгс}/\text{см}^3$		
380	0,001695	426,2	404	0,002011	473,4	428	0,002787	542,2
382	0,001714	429,6	406	0,002031	478,2	430	0,002883	548,7
384	0,001733	433,1	408	0,002055	483,1	432	0,002982	555,3
386	0,001753	436,7	410	0,002143	488,2	434	0,003084	561,7
388	0,001775	440,3	412	0,002194	493,5	436	0,003187	568,1
390	0,001798	444,1	414	0,002250	499,0	438	0,003291	574,3
392	0,001823	447,9	416	0,002311	504,6	440	0,003395	580,4
394	0,001849	451,8	418	0,002377	510,5	442	0,003498	586,3
396	0,001876	455,9	420	0,002449	516,6	444	0,003601	592,0
398	0,001906	460,1	422	0,002526	522,8	446	0,003702	597,6
400	0,001939	464,4	424	0,002608	529,1	448	0,003802	602,9
402	0,001973	468,8	426	0,002695	535,6	450	0,003900	608,1
$\rho=400 \text{ кгс}/\text{см}^3$			$\rho=400 \text{ кгс}/\text{см}^3$			$\rho=400 \text{ кгс}/\text{см}^3$		
350	0,001494	380,3	384	0,001730	432,9	418	0,002361	509,5
352	0,001504	383,1	386	0,001750	436,4	420	0,002430	515,5
354	0,001514	386,0	388	0,001772	440,1	422	0,002505	521,6
356	0,001523	388,8	390	0,001794	443,8	424	0,002585	527,9
358	0,001537	391,7	392	0,001819	447,6	426	0,002670	534,3
360	0,001548	394,7	394	0,001844	451,5	428	0,002759	540,8
362	0,001560	397,6	396	0,001872	455,5	430	0,002853	547,3
364	0,001573	400,6	398	0,001901	459,7	432	0,002950	553,8
366	0,001586	403,6	400	0,001933	463,9	434	0,003049	560,2
368	0,001599	406,7	402	0,001967	468,4	436	0,003151	566,5
370	0,001613	409,8	404	0,002003	472,9	438	0,003253	572,8
372	0,001628	412,9	406	0,002043	477,6	440	0,003356	578,9
374	0,001643	416,1	408	0,002086	482,5	442	0,003458	584,6
376	0,001659	419,3	410	0,002132	487,5	444	0,003560	590,5
378	0,001675	422,6	412	0,002183	492,7	446	0,003660	596,6
380	0,001693	426,0	414	0,002237	498,1	448	0,003760	601,4
382	0,001711	429,4	416	0,002296	503,7	450	0,003857	606,6

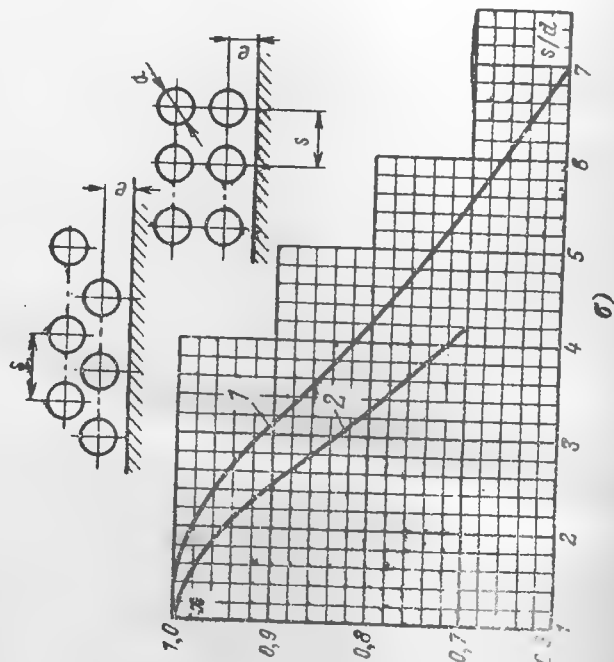
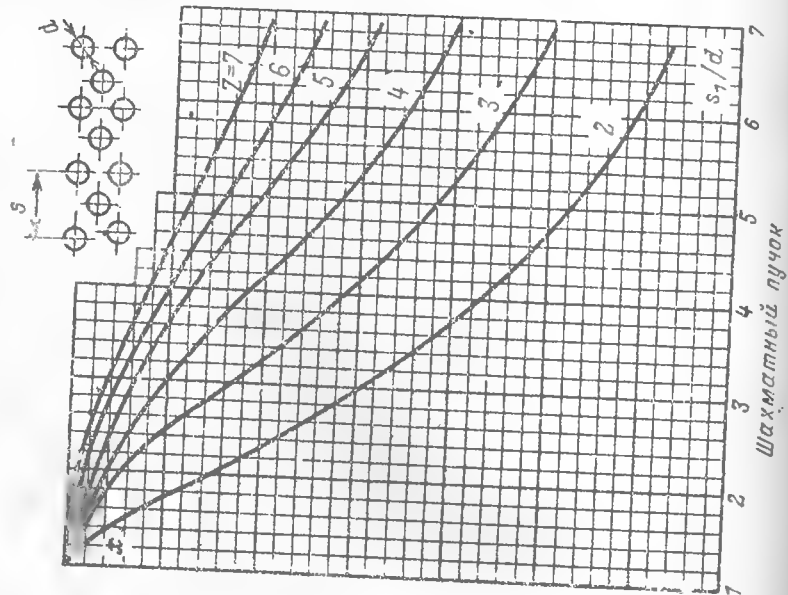
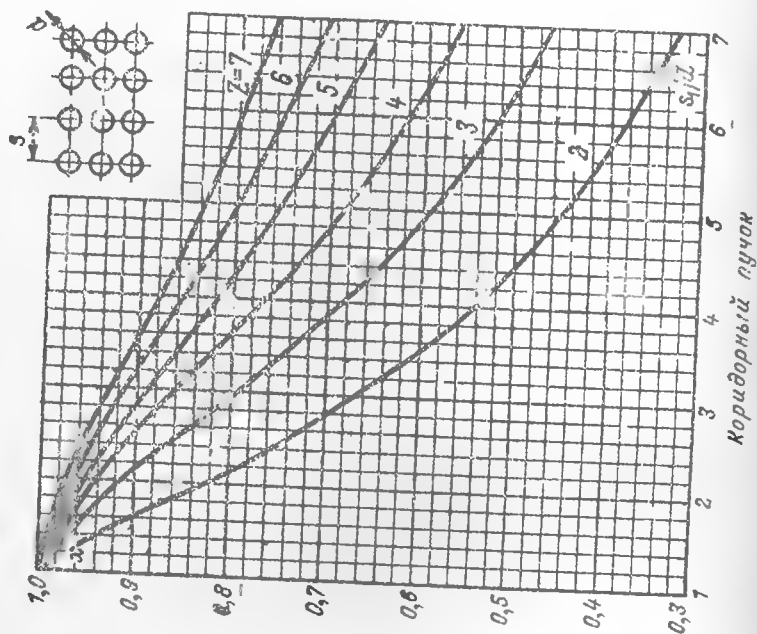
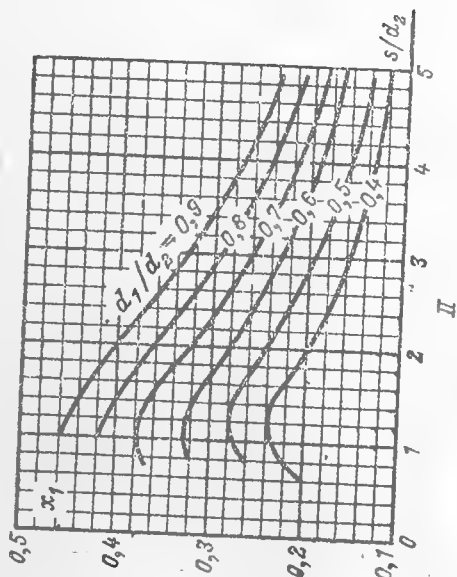


а — однорядного гладкотрубного экрана; 1 — с учетом излучения обмуровки при $e \geq 1,4d$; 2 — то же при $e = 0,8d$; 3 — то же при $e = 0,5d$; 4 — то же при $e = 0$; 5 — без учета излучения обмуровки при $e \geq 0,5d$;



б — двухрядного гладкотрубного экрана; 1 — с учетом излучения обмуровки при $e \geq 1,4d$; 2 — то же при $e = 0,8d$; 3 — то же при $e = 0,5d$; 4 — то же при $e = 0$; 5 — без учета излучения обмуровки при $e \geq 0,5d$;

в — однорядного экрана из гладких труб разных диаметров; I — для всего экрана; II — для труб малого диаметра; 2 — z-рядного пучка; z=2, 3, 4, 5, 6, 7 — количество рядов в пучке.



Коридорный пучок

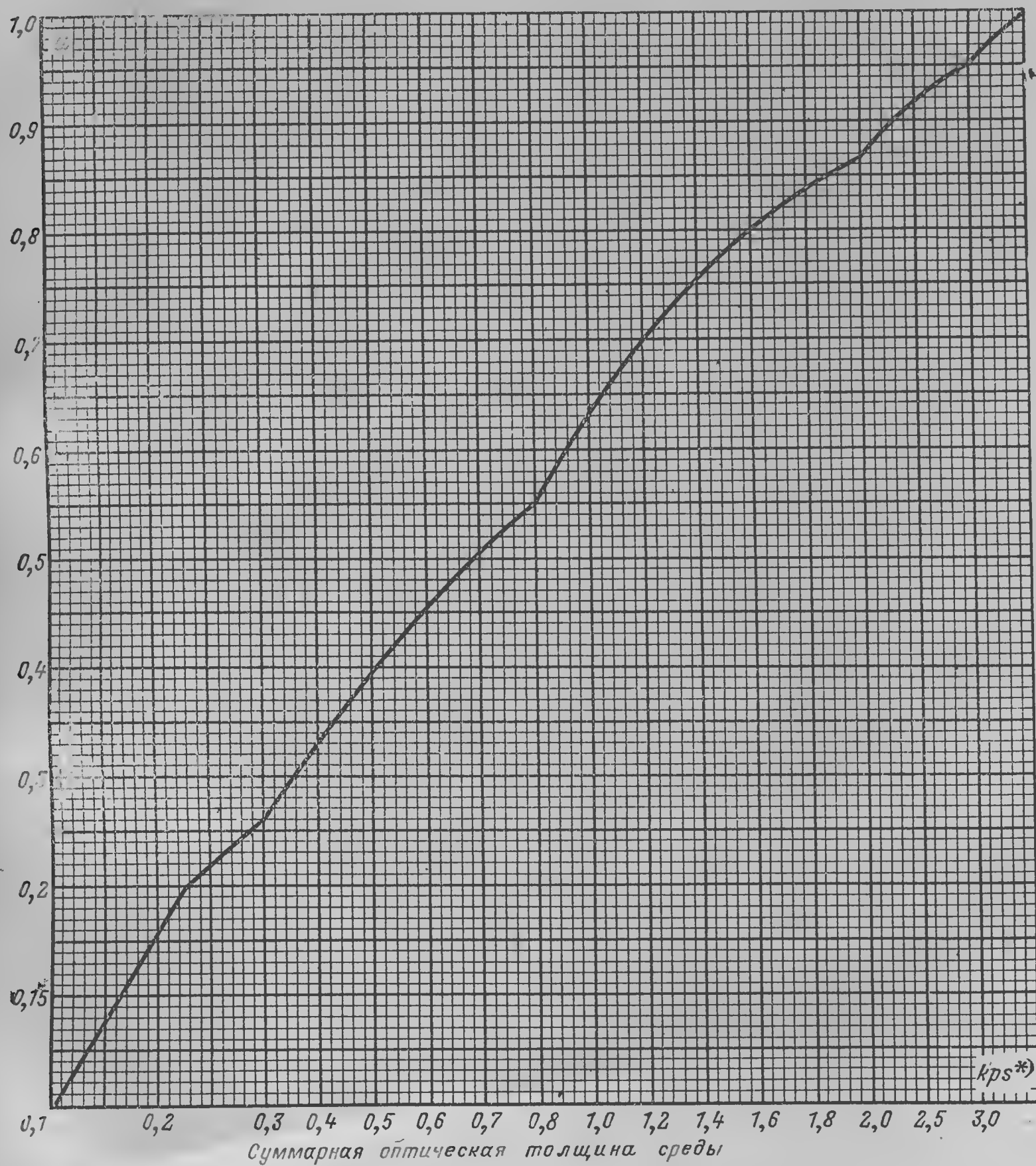
г)

Шахматный пучок

з)

СТЕПЕНЬ ЧЕРНОТЫ ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ

Номограмма 2

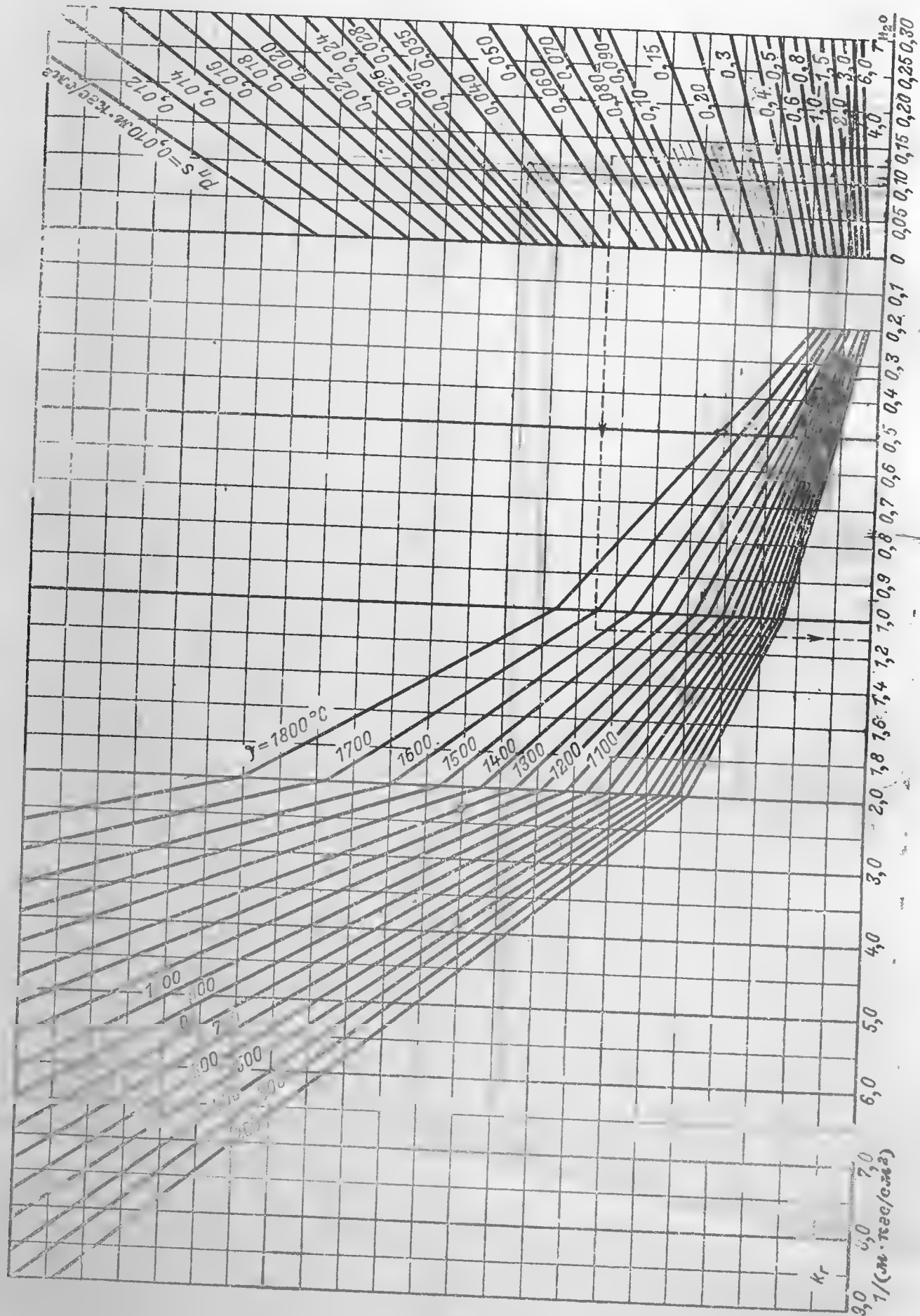


$$a = 1 - e^{-kps}$$

* Для котлов, работающих без наддува и с наддувом не более 1,05 кгс/см² принимается $p = 1$ кгс/см²

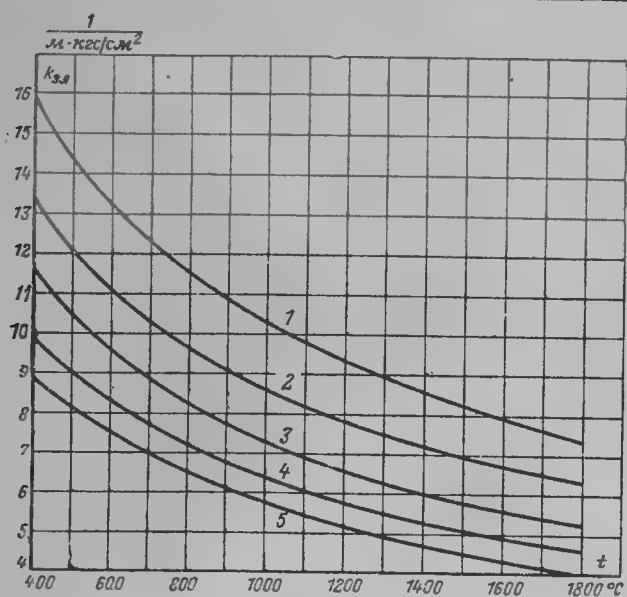
К ОПРЕДЕЛЕНИЮ КОЭФФИЦИЕНТА ОСЛАБЛЕНИЯ ЛУЧЕЙ ТРЕХАТОМНЫМИ ГАЗАМИ

Номограмма 3



К ОПРЕДЕЛЕНИЮ КОЭФФИЦИЕНТА ОСЛАБЛЕНИЯ ЛУЧЕЙ
ЗОЛОВЫМИ ЧАСТИЦАМИ

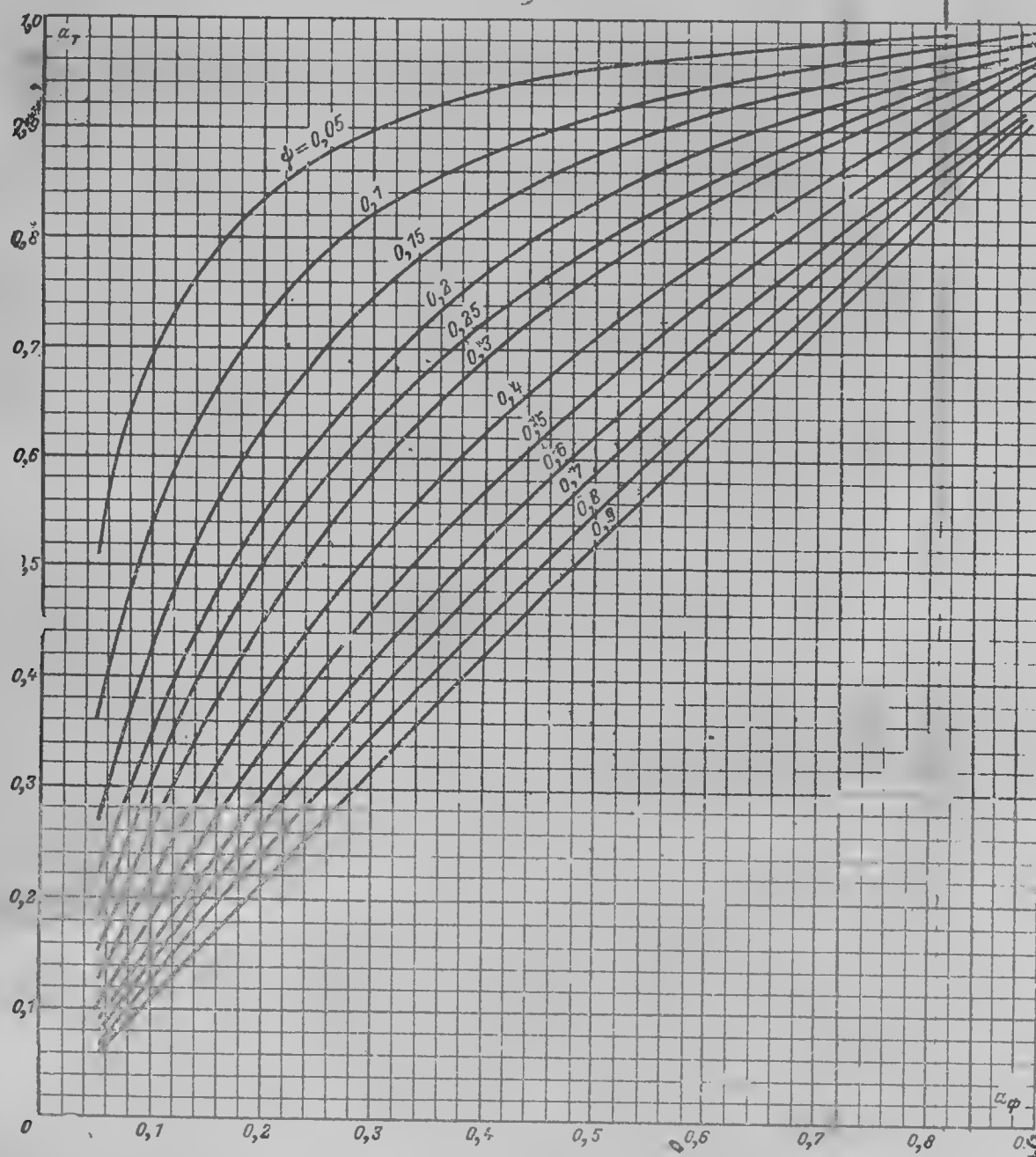
Номограмма 4



1 — при сжигании пыли в циклонных топках; 2 — при сжигании углей, размолотых в шаровых барабанных мельницах; 3 — при сжигании углей, размолотых в среднеходных и молотковых мельницах и мельницах-вентиляторах; 4 — при сжигании дробленки в циклонных топках и топлива в слоевых топках; 5 — при сжигании торфа в камерных топках.

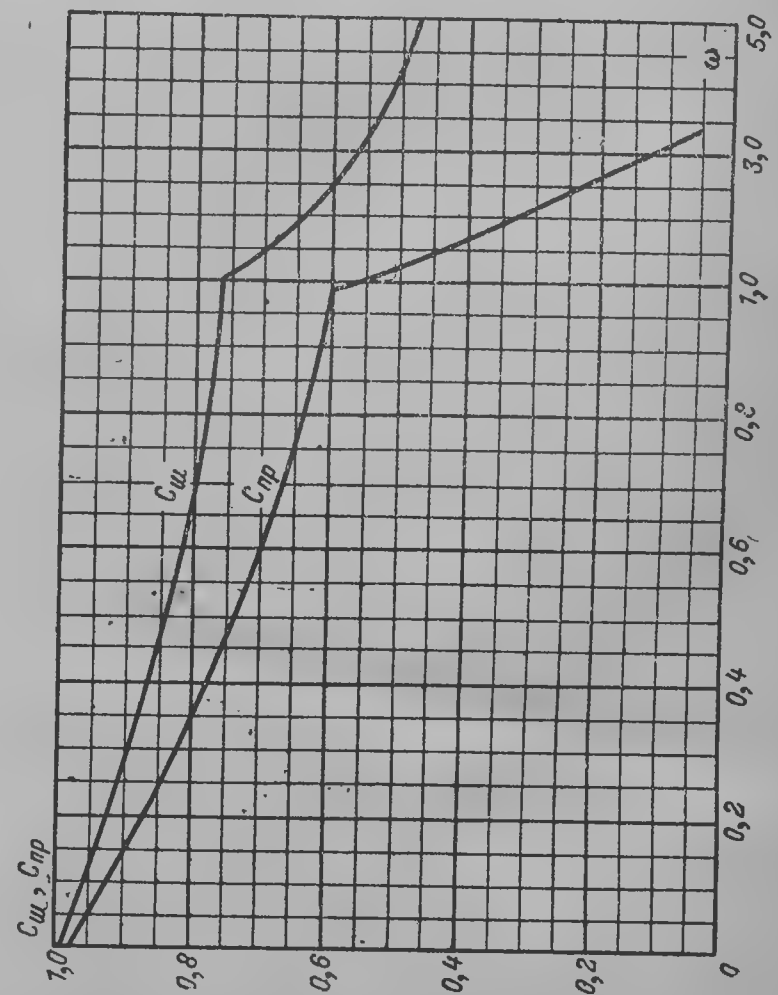
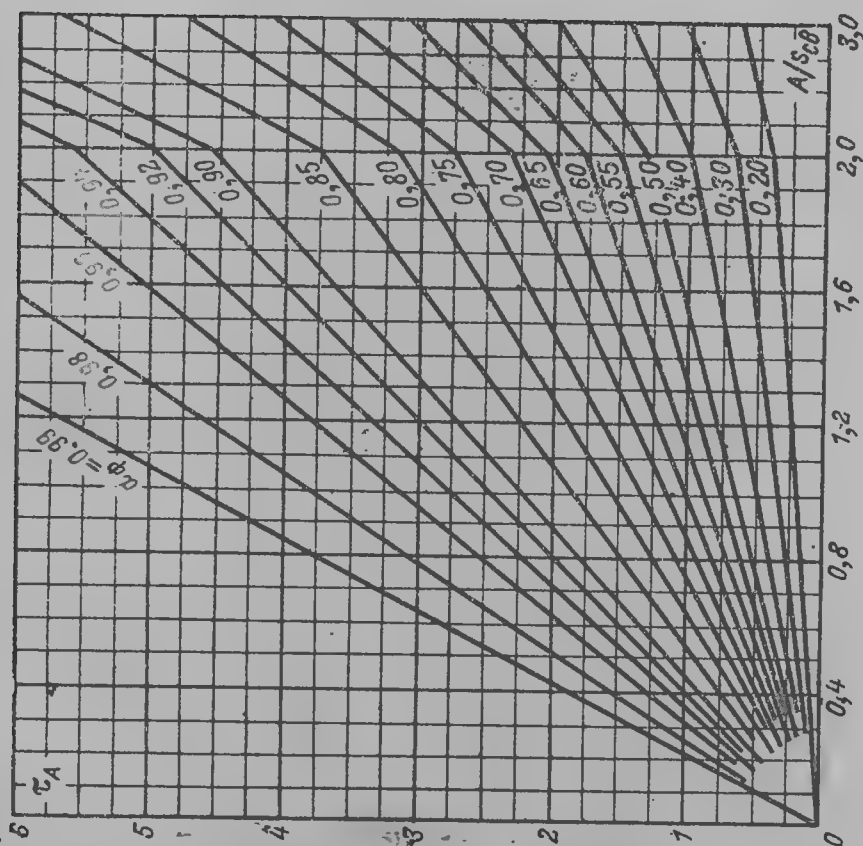
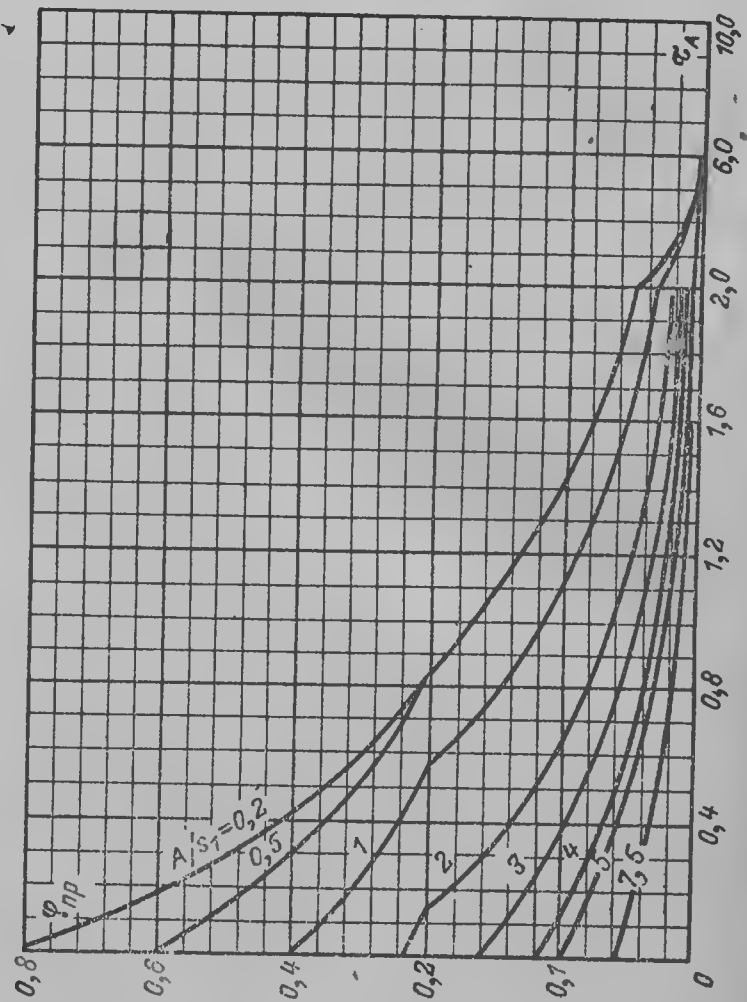
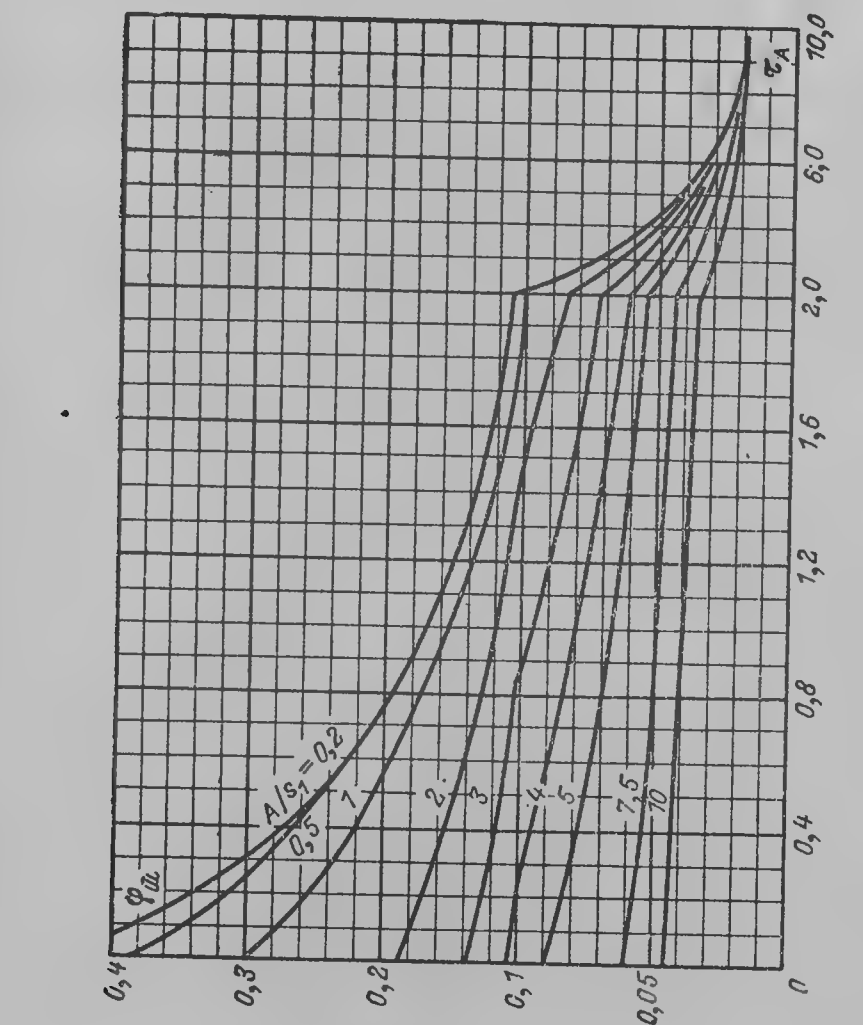
СТЕПЕНЬ ЧЕРНОТЫ КАМЕРНЫХ ТОПОК

Номограмма 6



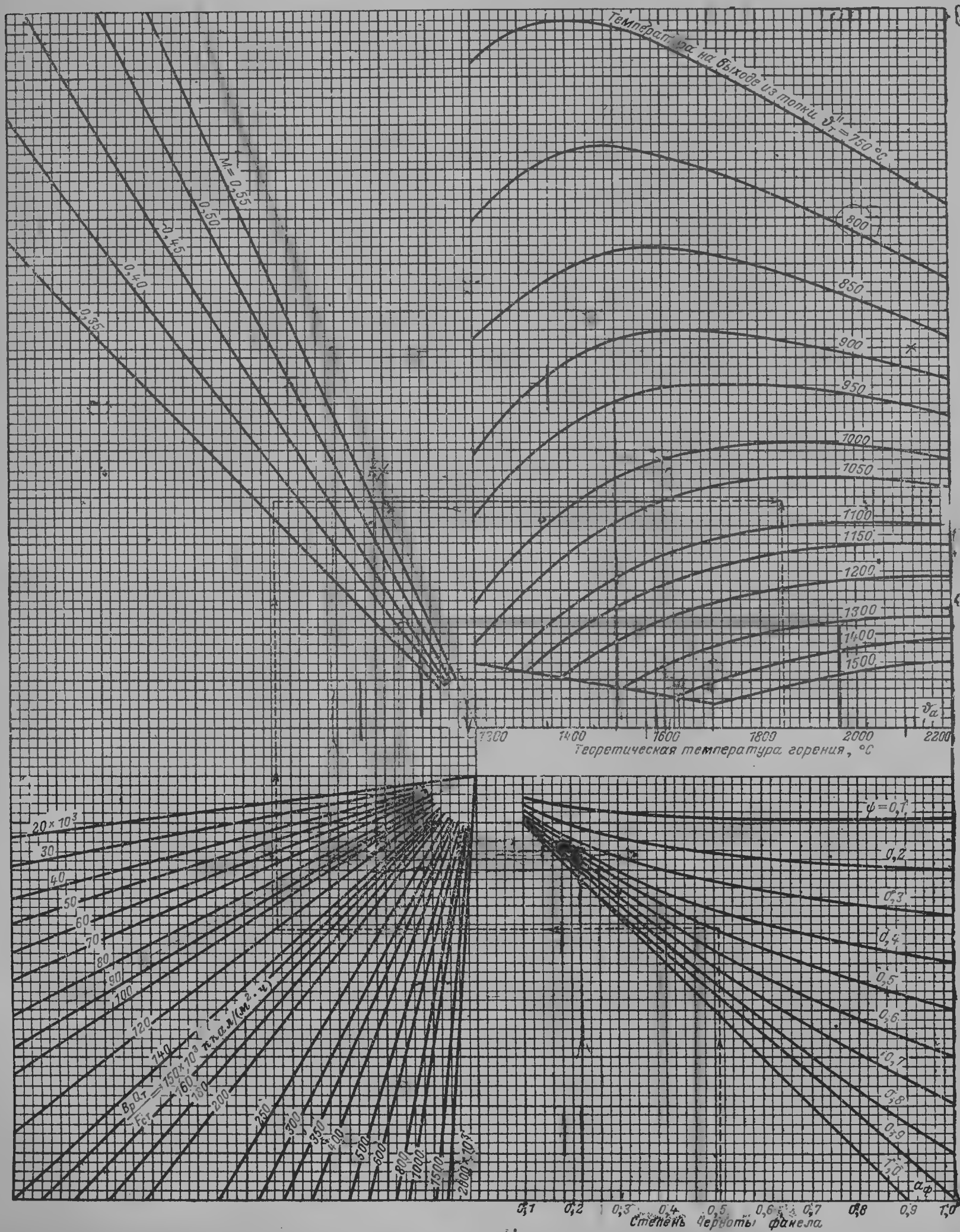
КОЭФФИЦИЕНТЫ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИЕ НЕРАВНОМЕРНОСТЬ ОСВЕЩЕННОСТИ ШИРМ

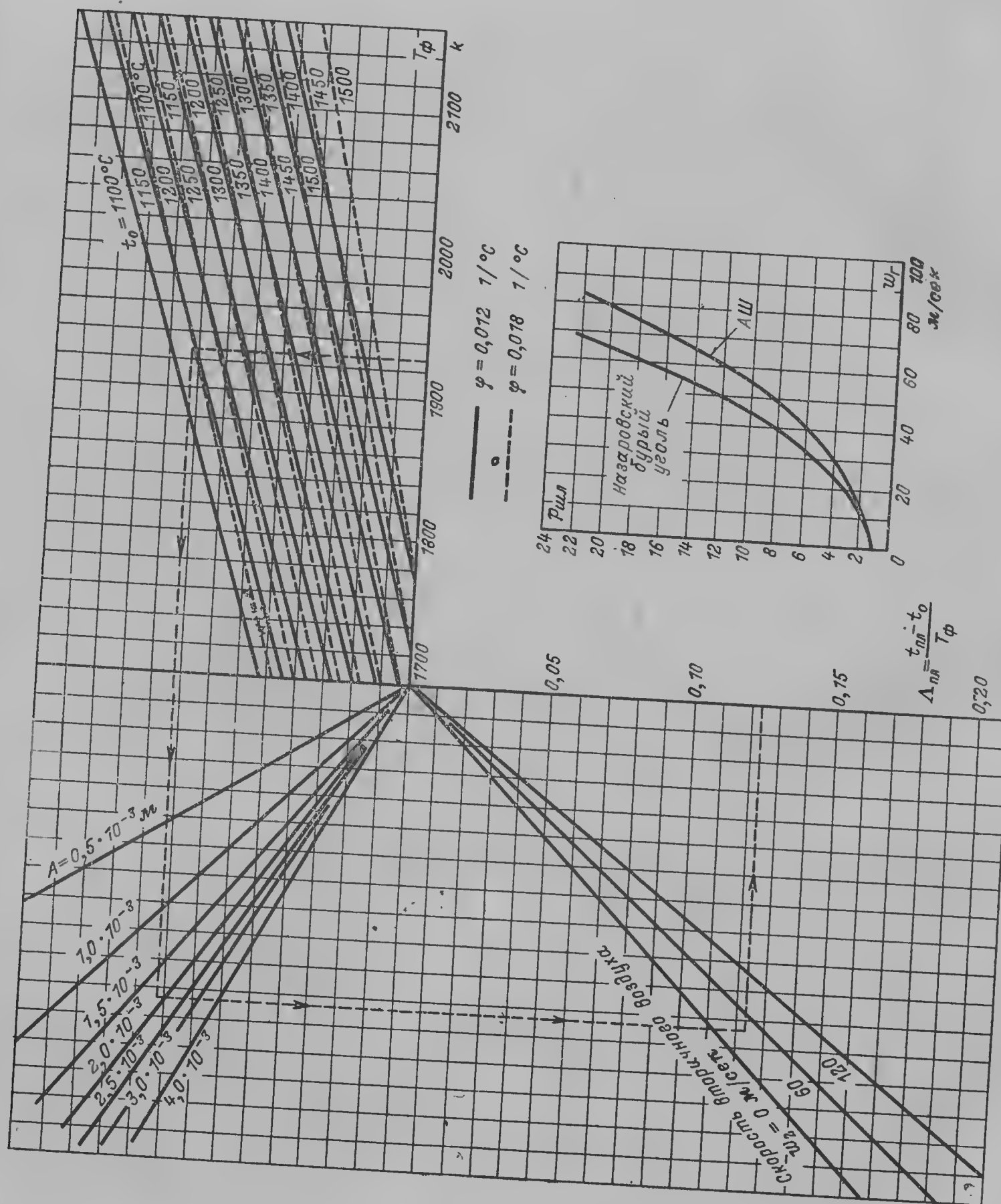
Номограмма 5



РАСЧЕТ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ В ОДНОКАМЕРНЫХ И ПОЛУОТКРЫТЫХ ТОПКАХ

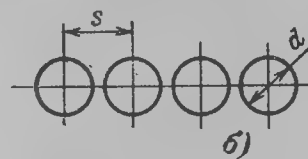
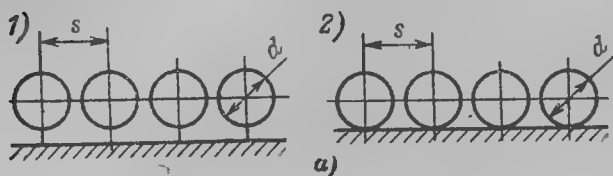
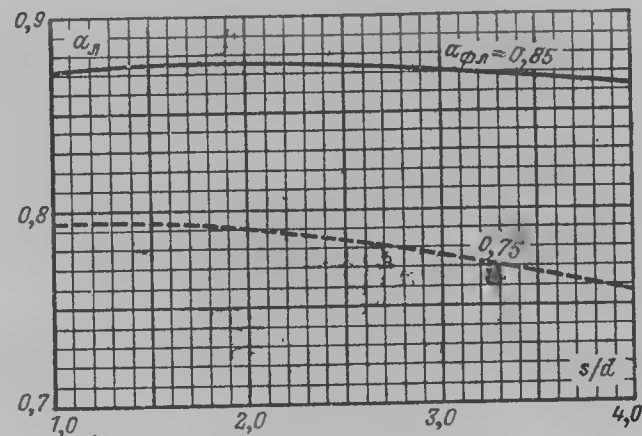
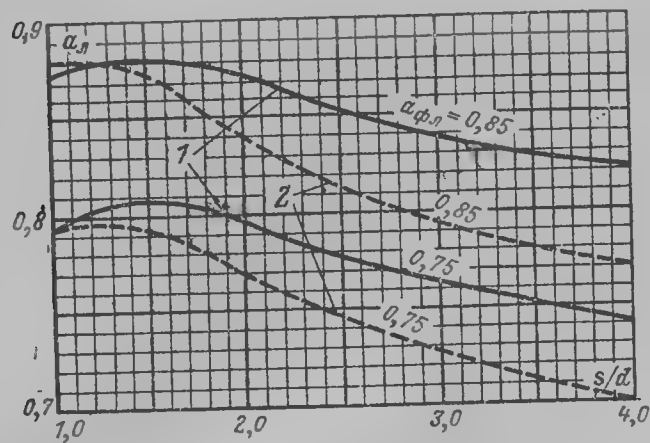
Номограмма 7





ЭФФЕКТИВНАЯ ПОГЛОЩАТЕЛЬНАЯ СПОСОБНОСТЬ ГЛАДКОТРУБНЫХ ЭКРАНОВ

Номограмма 9

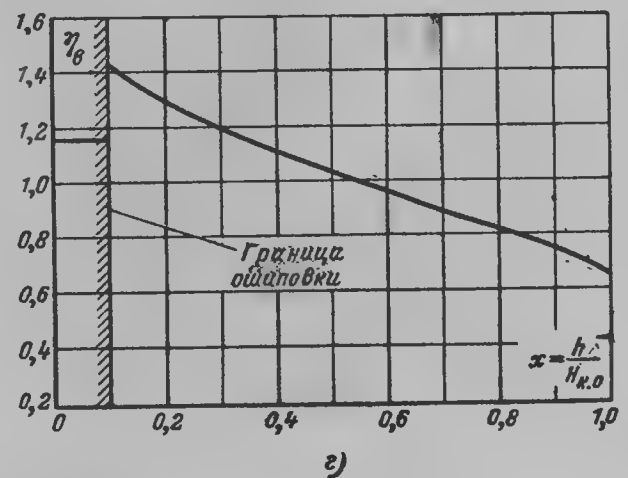
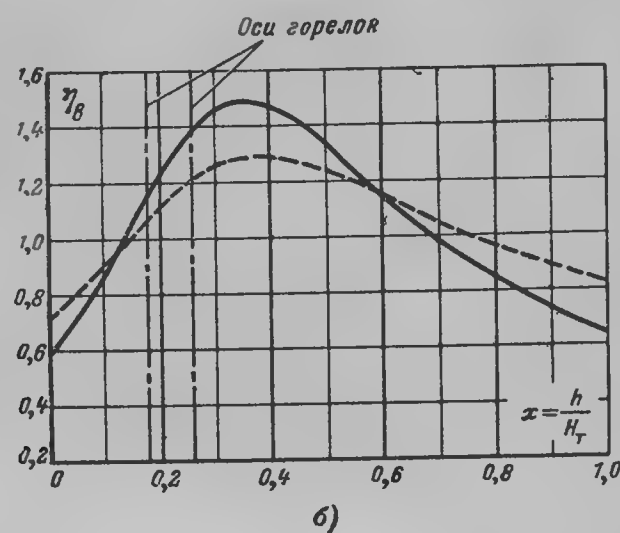
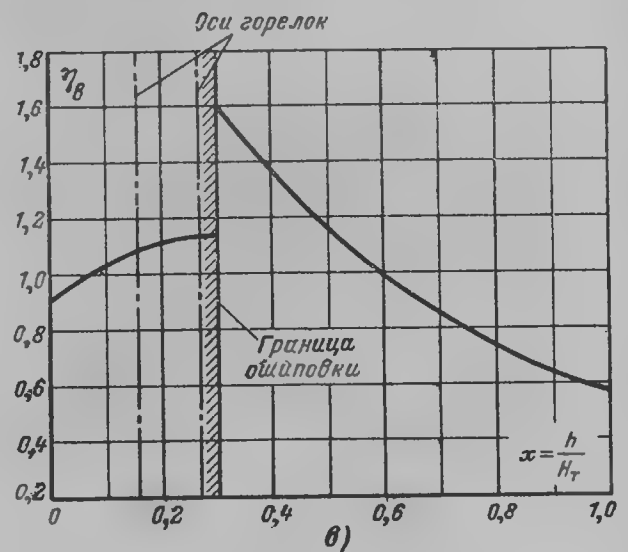
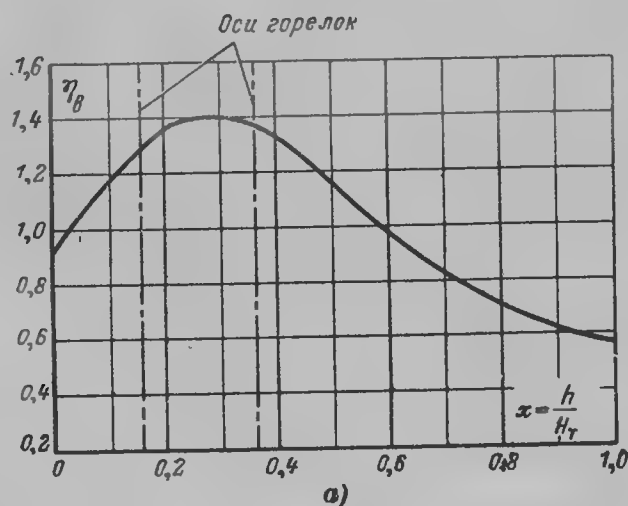


а — настенных; б — двусветных.

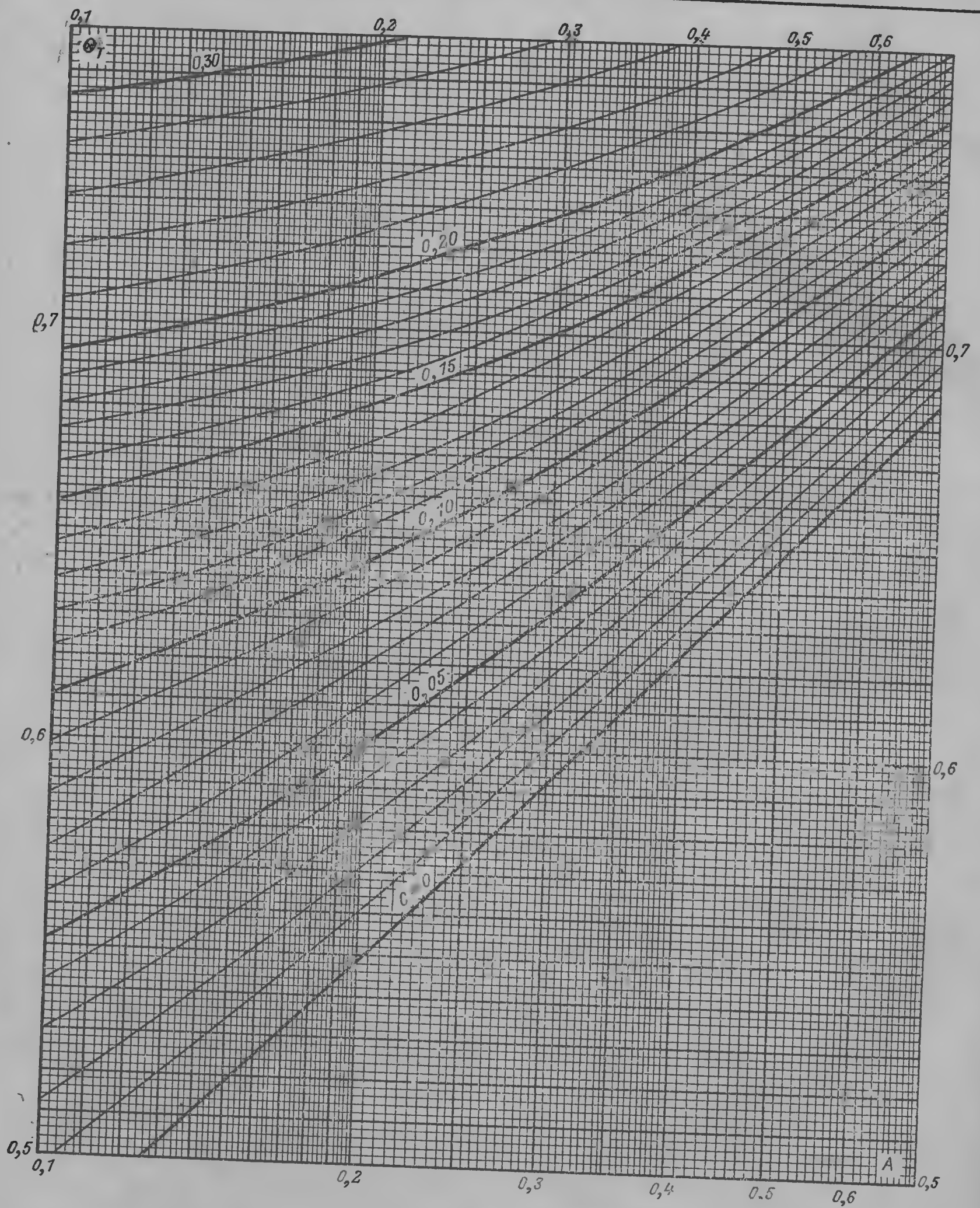
КОЭФФИЦИЕНТ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛОВОСПРИЯТИЯ ПО ВЫСОТЕ ТОПКИ

Номограмма 11

а — газомазутные топки; б — пылеугольные топки с твердым шлакоудалением; — — — АШ, тощие и каменные угли, сушенка бурого угля; — — — — бурые угли, фрезторф; в — пылеугольные топки с жидким шлакоудалением; г — камеры охлаждения двухкамерных топок.

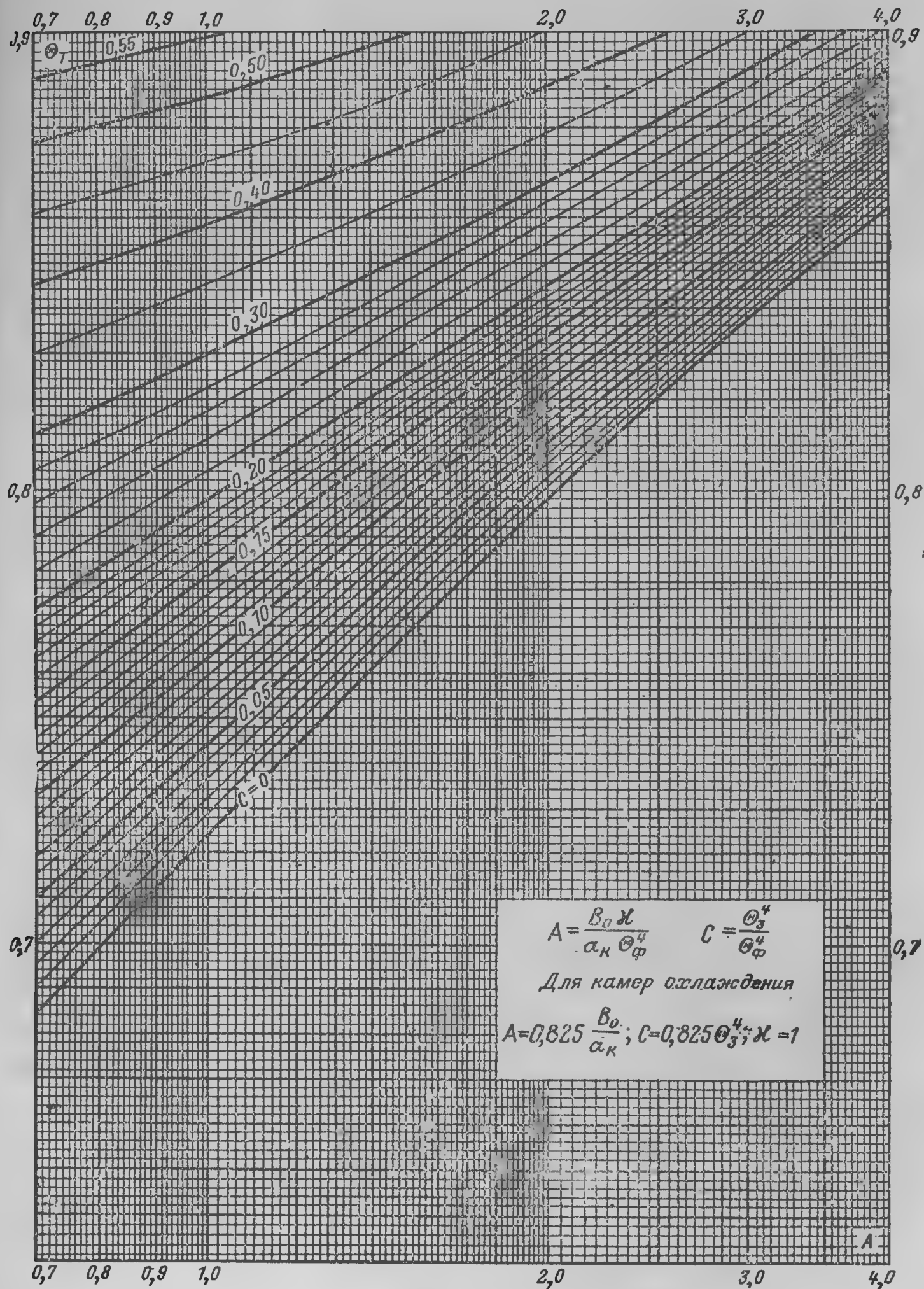


РАСЧЕТ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ В КАМЕРЕ ОХЛАЖДЕНИЯ ДВУХКАМЕРНЫХ ТОПОК, А ТАКЖЕ

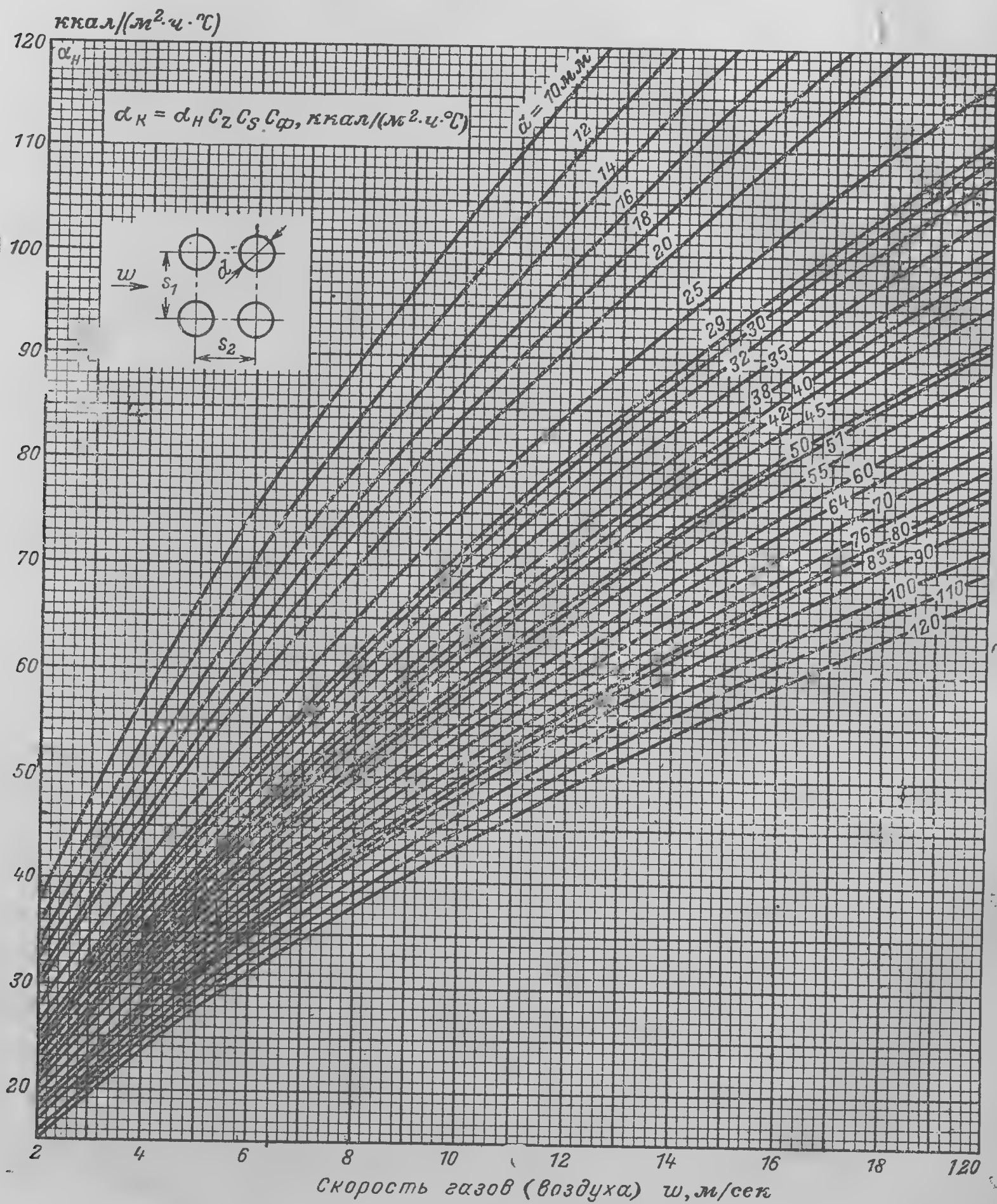


В ОДНОКАМЕРНЫХ И ПОЛУОТКРЫТЫХ ТОПКАХ ПО МЕТОДУ ВТИ—ЭНИН

Номограмма 10

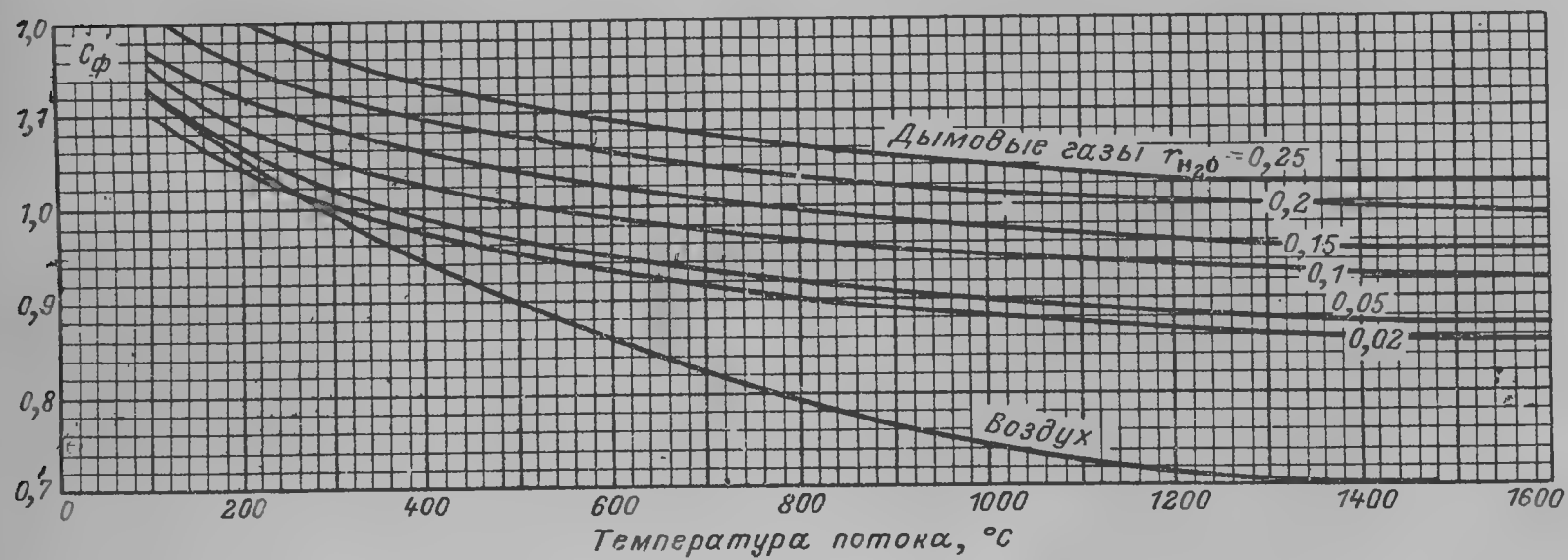
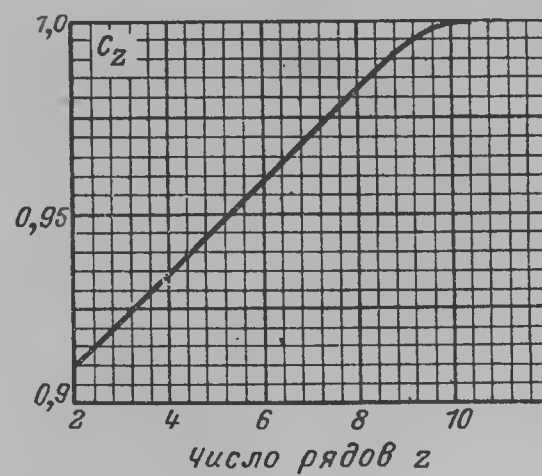
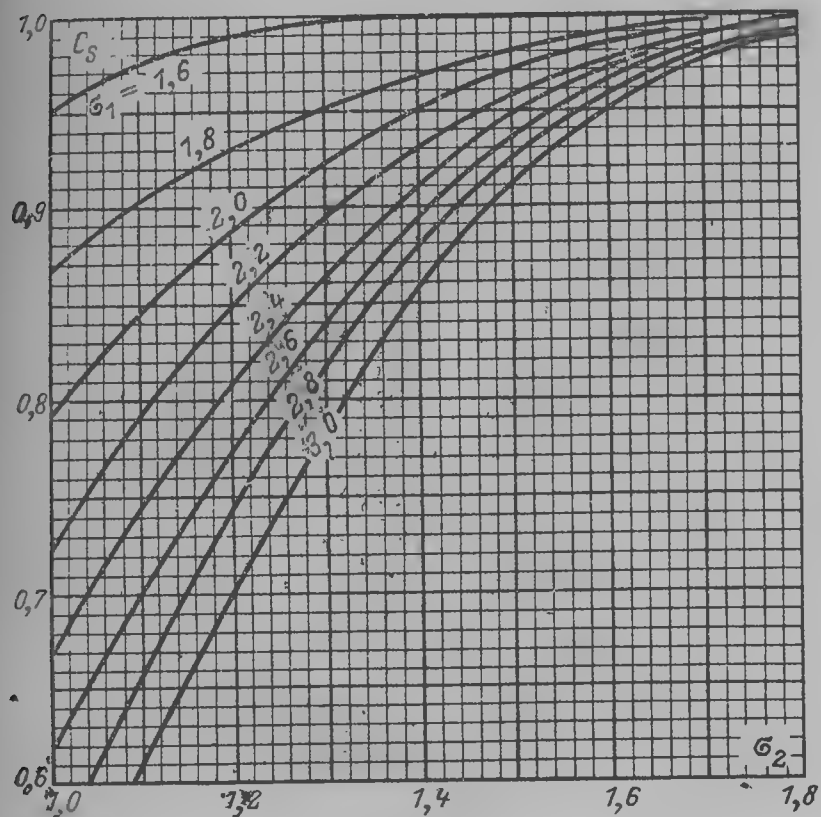


КОЭФФИЦИЕНТ ТЕПЛООТДАЧИ КОНВЕКЦИЕЙ ПРИ ПОПЕРЕЧНОМ

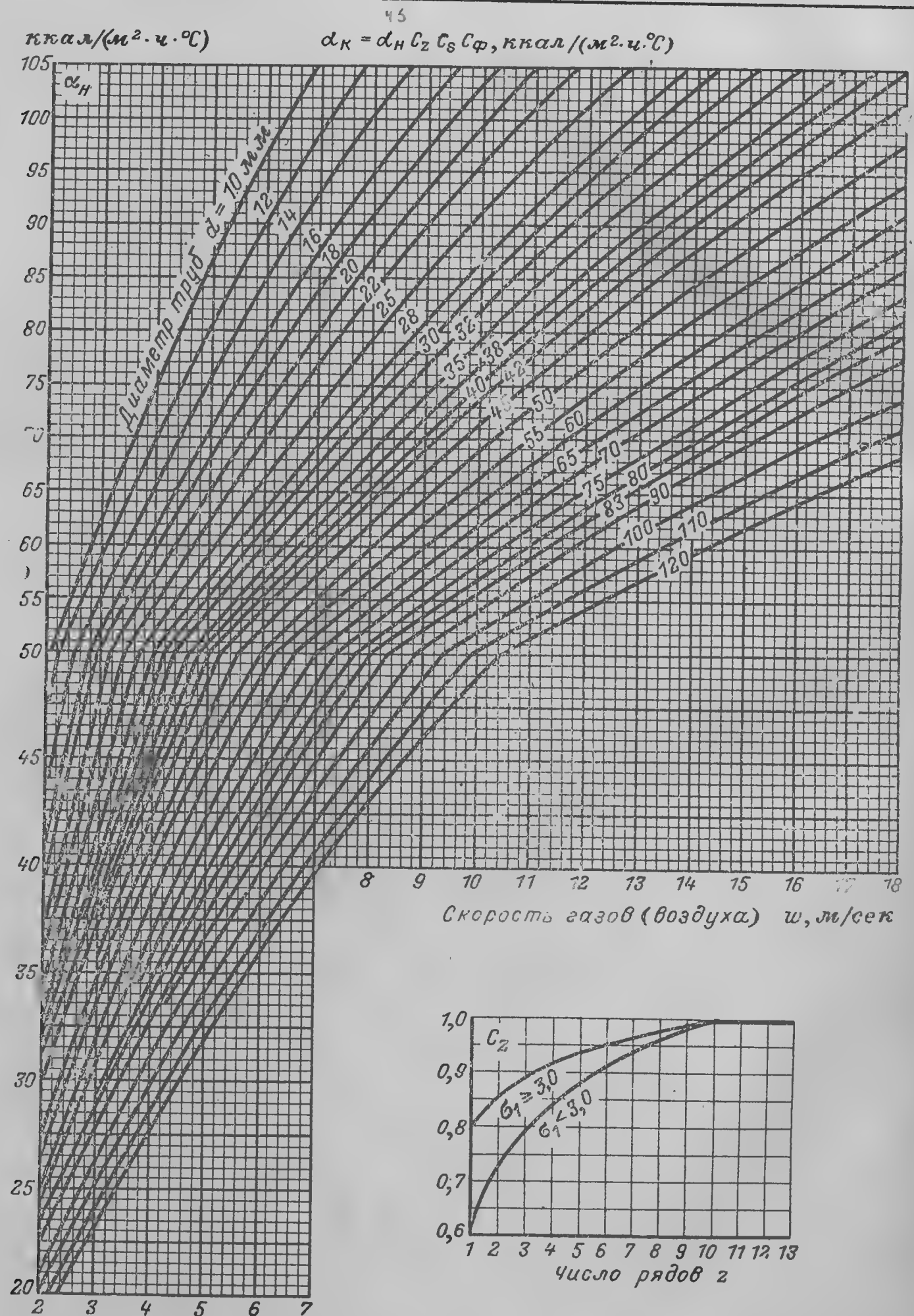


ОМЫВАНИИ КОРИДОРНЫХ ГЛАДКОТРУБНЫХ ПУЧКОВ

Номограмма 12

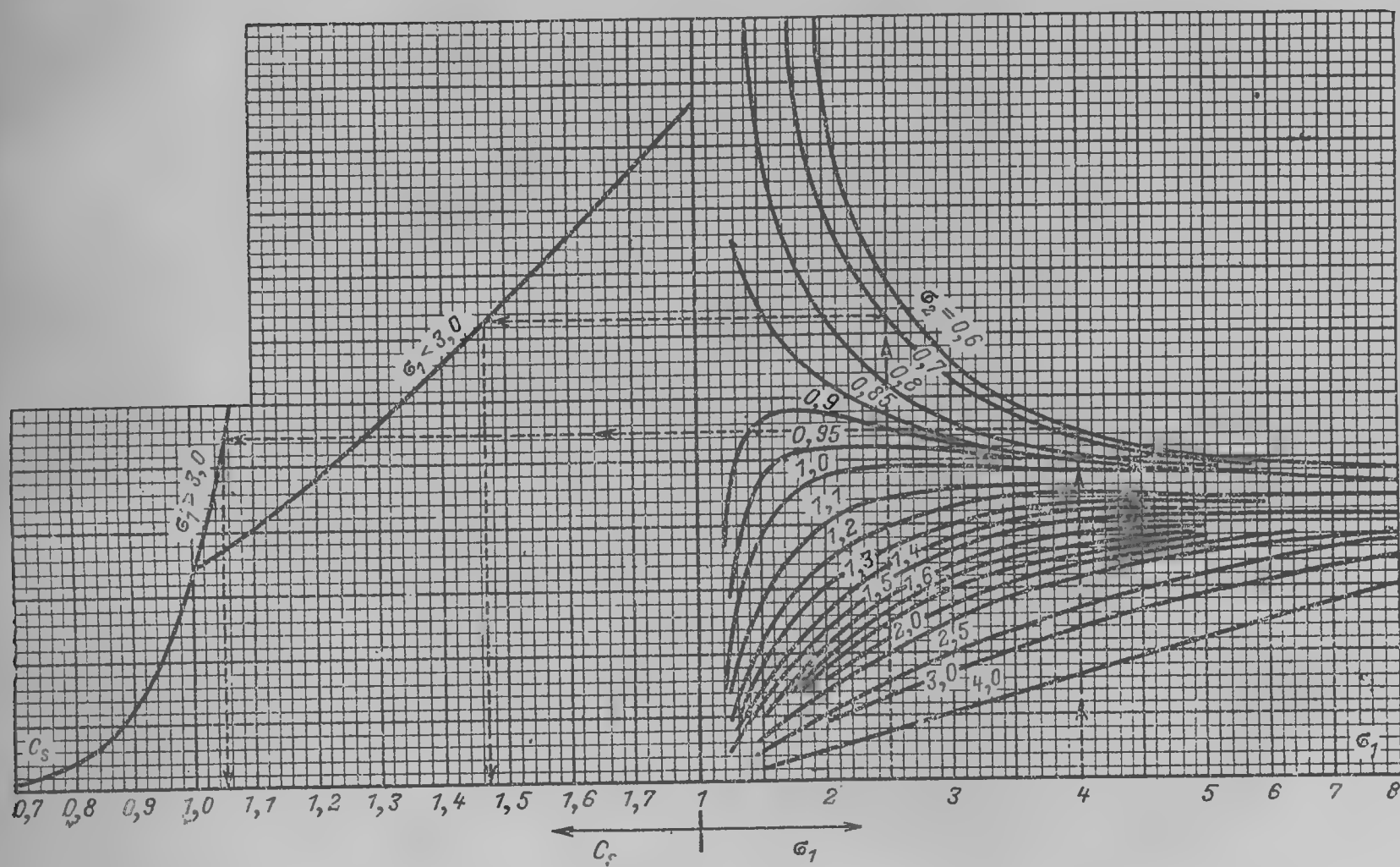
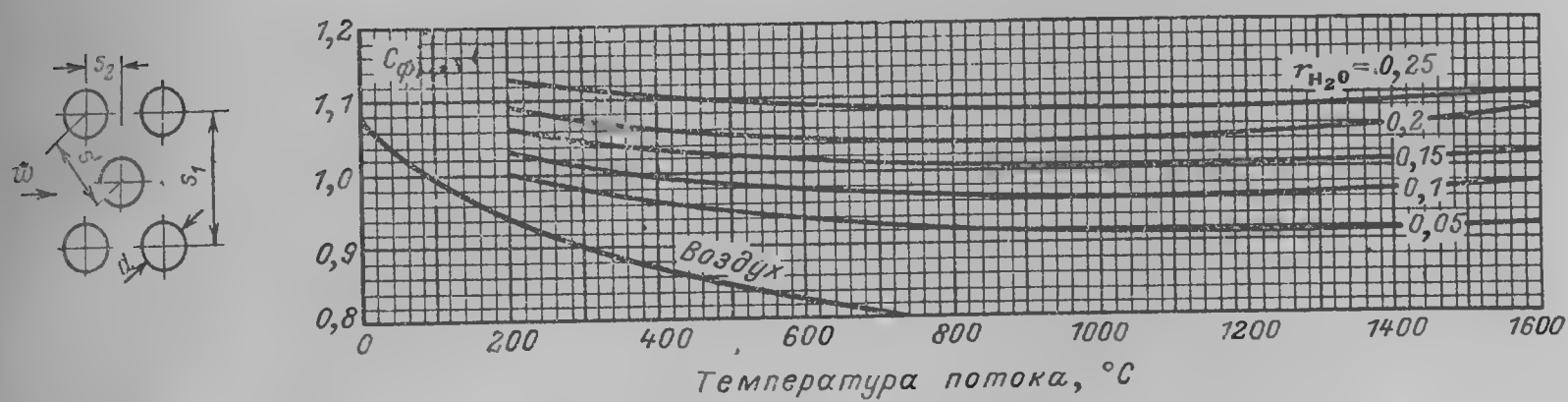


КОЭФФИЦИЕНТ ТЕПЛООТДАЧИ КОНВЕКЦИЕЙ ПРИ ПОПЕРЕЧНОМ.

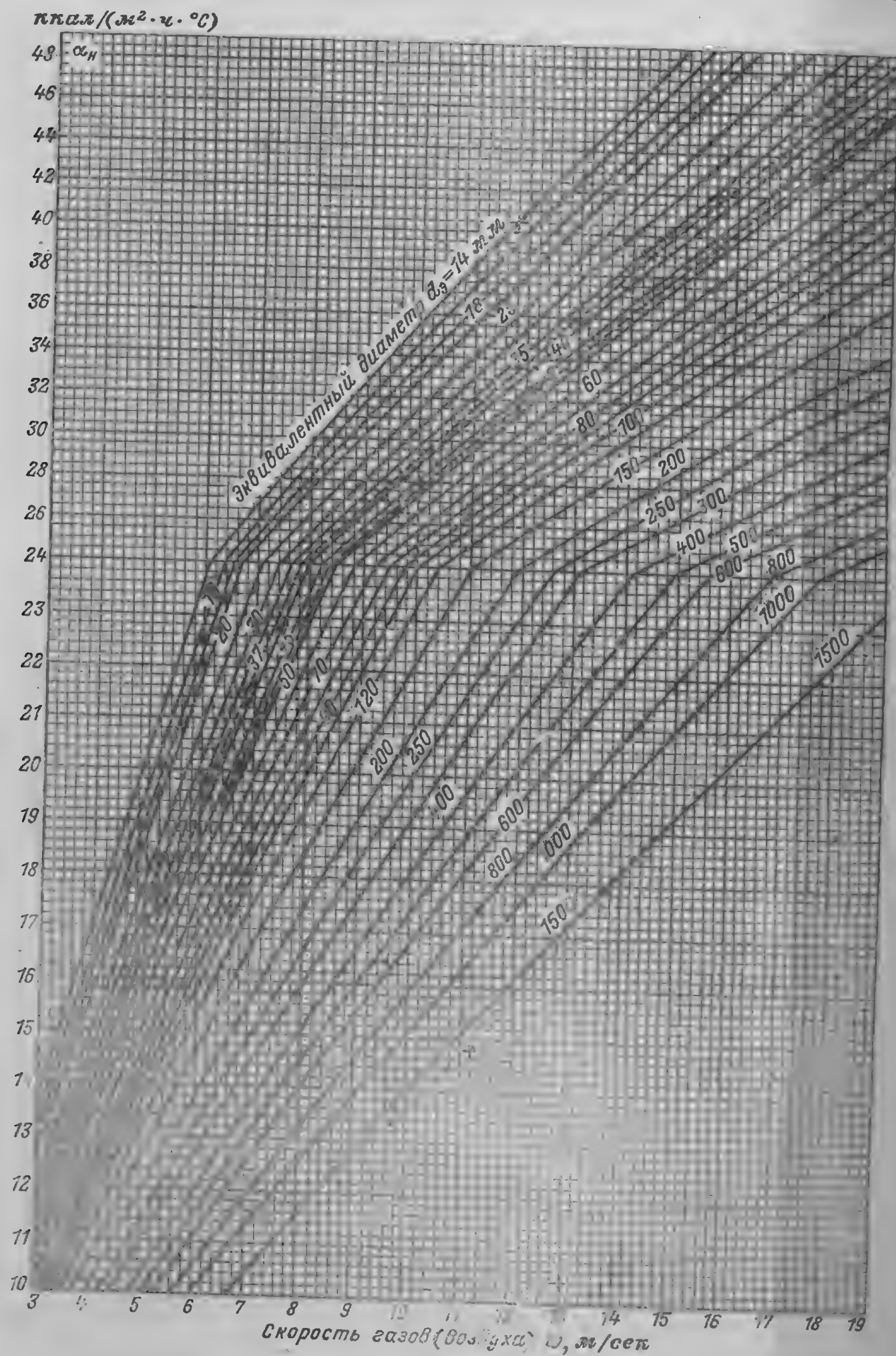


ОМЫВАНИИ ШАХМАТНЫХ ГЛАДКОТРУБНЫХ ПУЧКОВ

Номограмма 13

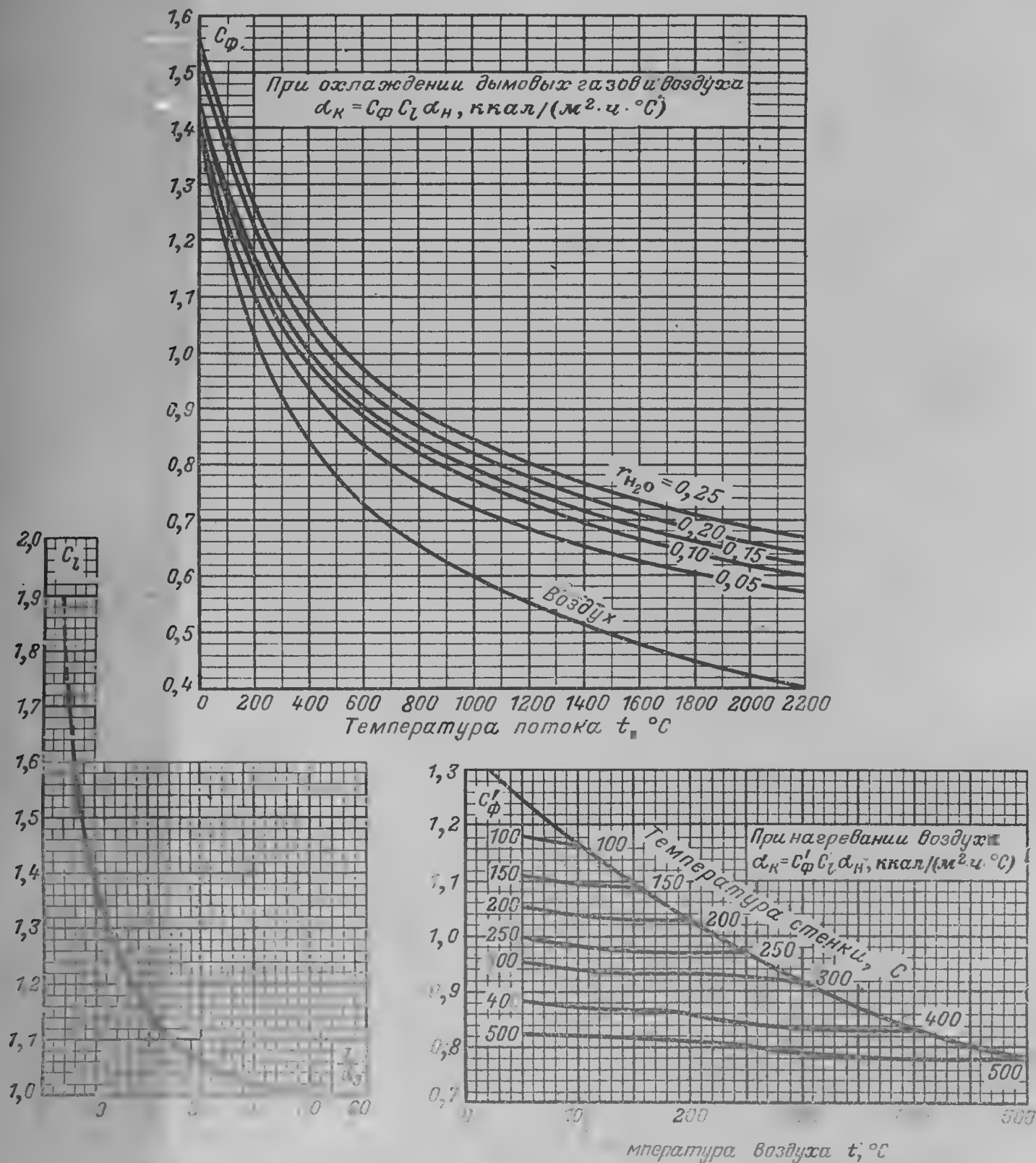


КОЭФФИЦИЕНТ ТЕПЛООТДАЧИ КОНВЕКЦИЕЙ ПРИ ПРОДОЛЬНОМ



ОМЫВАНИИ ДЛЯ ВОЗДУХА И ДЫМОВЫХ ГАЗОВ

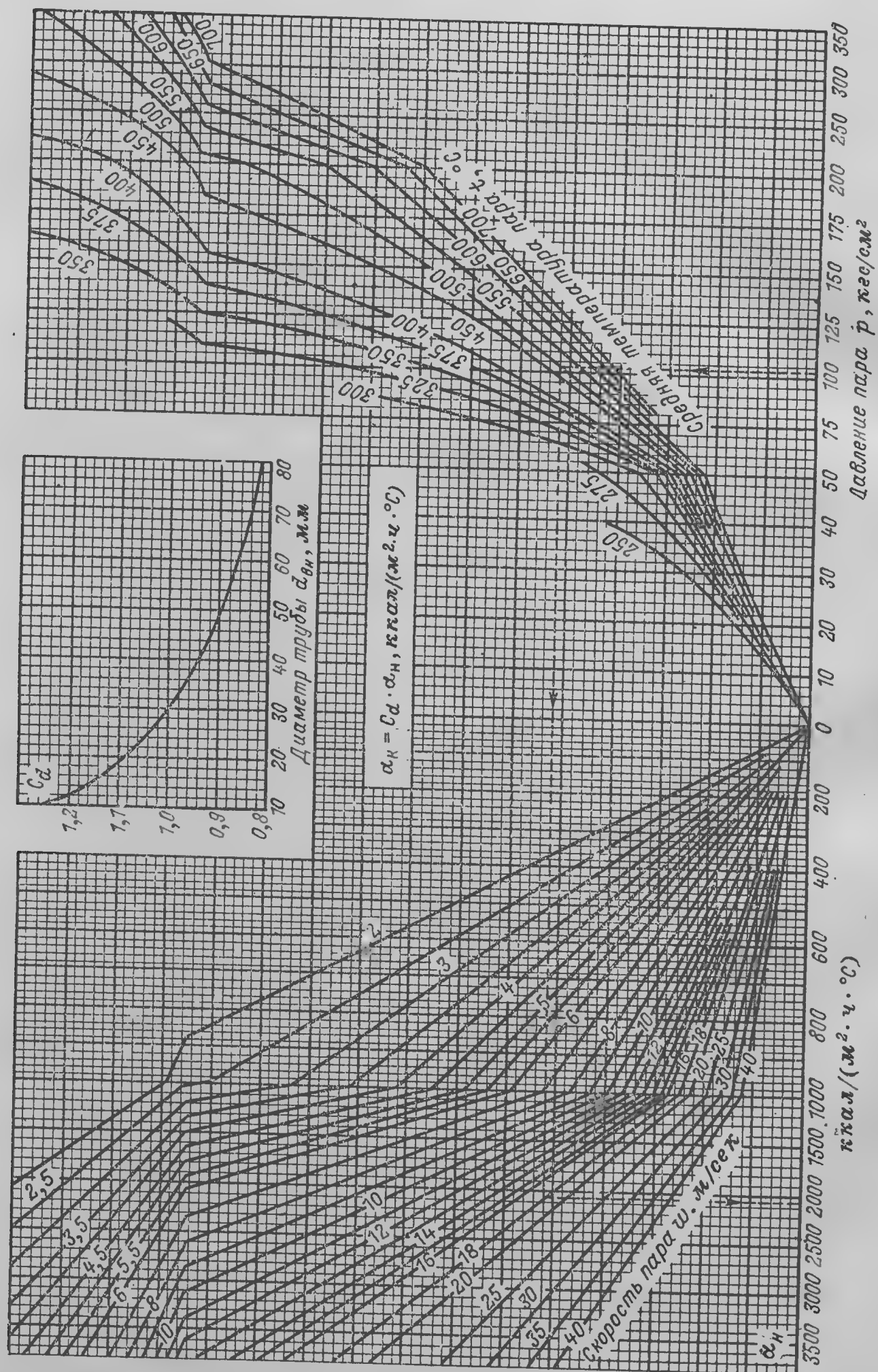
Номограмма 14



При охлаждении дымовых газов и воздуха $\alpha_K = C_\phi C_L \alpha_n$, ккал/(м²·ч·°C). При нагревании воздуха $\alpha_K = C_\phi C_L \alpha_n$, ккал/(м²·ч·°C).

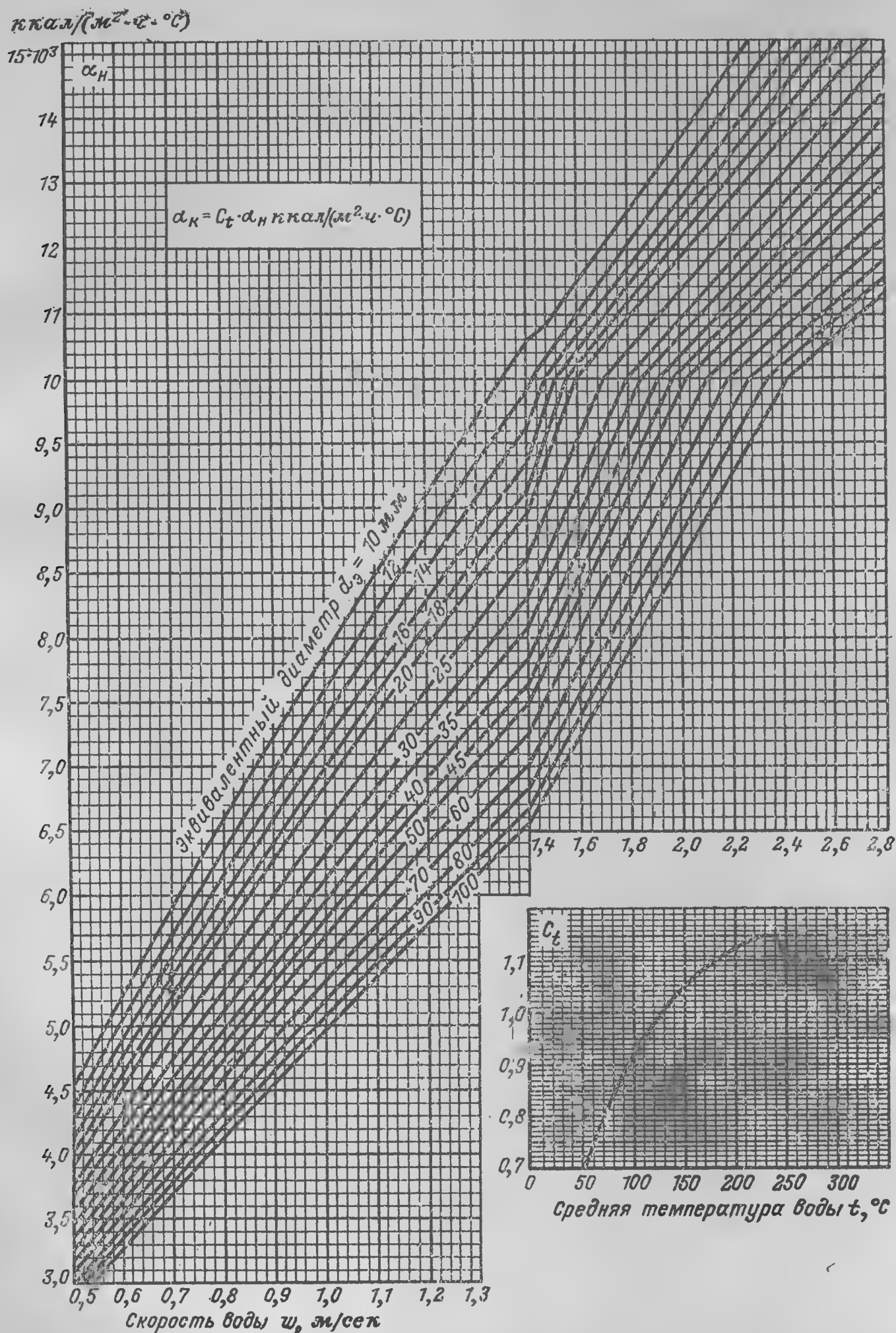
КОЭФФИЦИЕНТ ТЕПЛООТДАЧИ КОНВЕКЦИЕЙ ПРИ ПРОДОЛЬНОМ
ОМЫВАНИИ ДЛЯ ПЕРЕГРЕТОГО ПАРА В ДОКРИТИЧЕСКОЙ ОБЛАСТИ

Номограмма 1Б

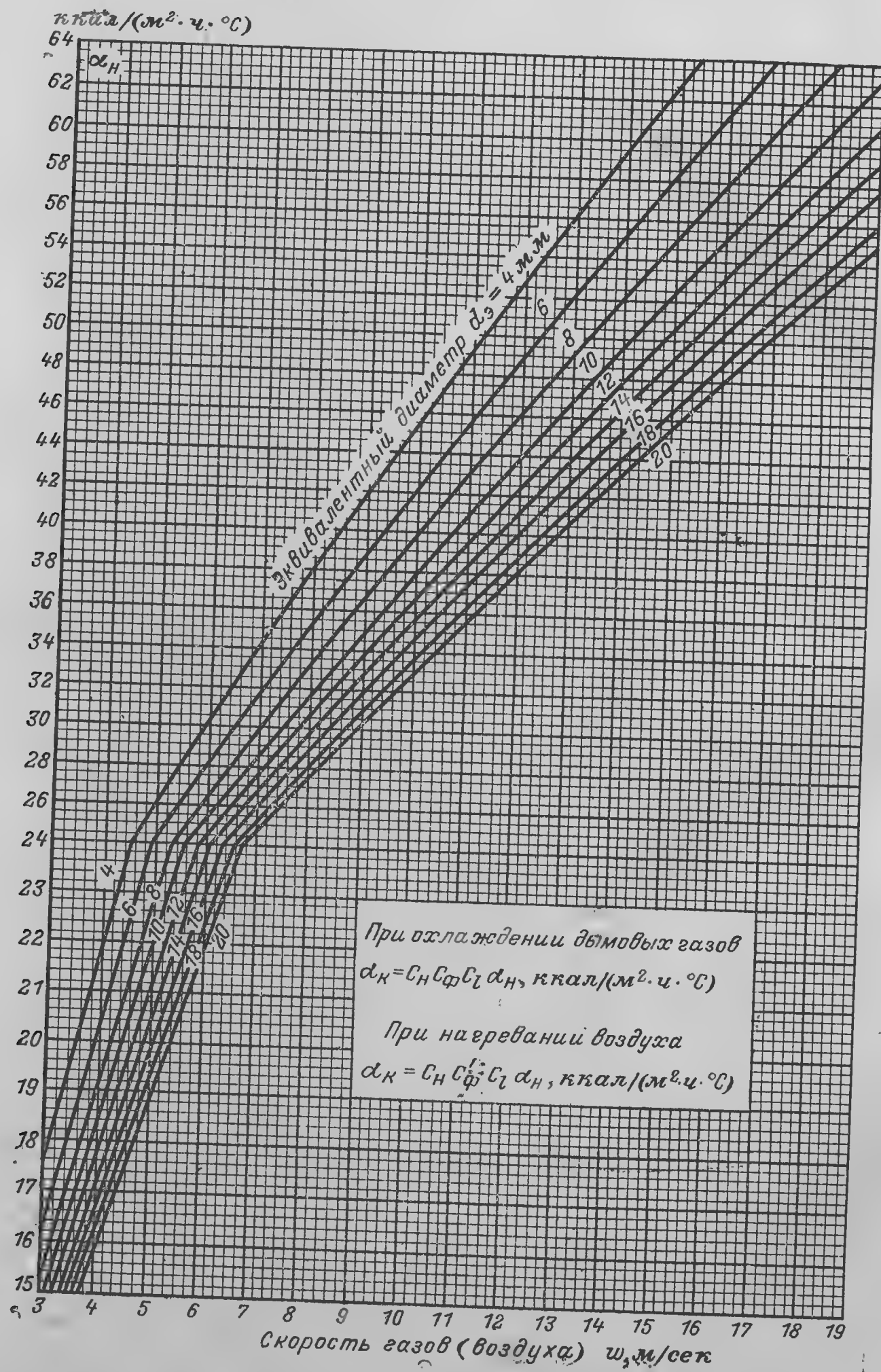


КОЭФФИЦИЕНТ ТЕПЛООТДАЧИ КОНВЕКЦИЕЙ ПРИ ПРОДОЛЬНОМ
ОМЫВАНИИ ДЛЯ НЕКИПЯЩЕЙ ВОДЫ

Номограмма 16

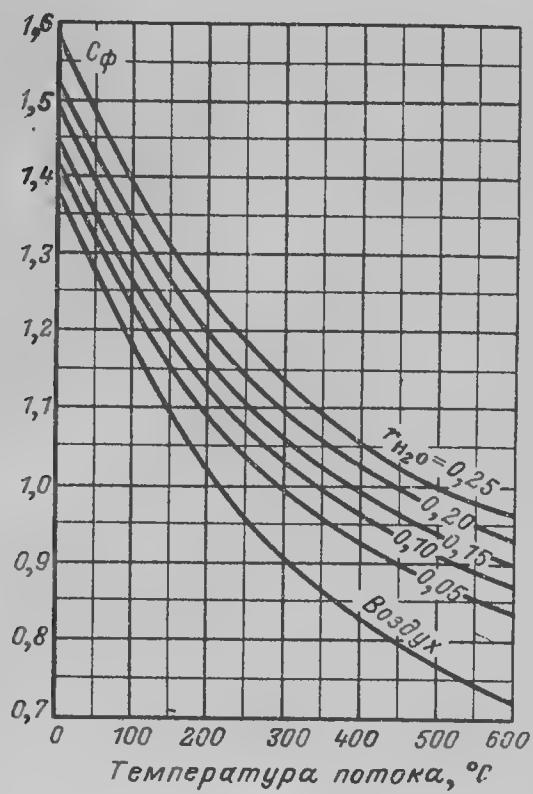


КОЭФФИЦИЕНТ ТЕПЛООТДАЧИ КОНВЕКЦИЕЙ ДЛЯ РЕГЕНЕРАТИВНЫХ

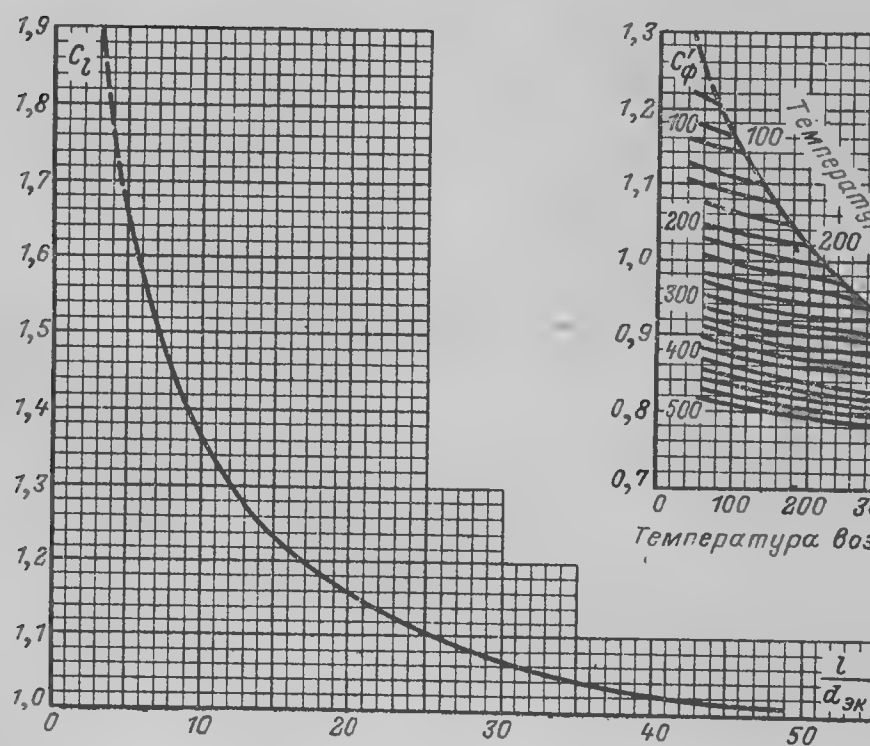


ВОЗДУХОПОДОГРЕВАТЕЛЕЙ

Номограмма 18

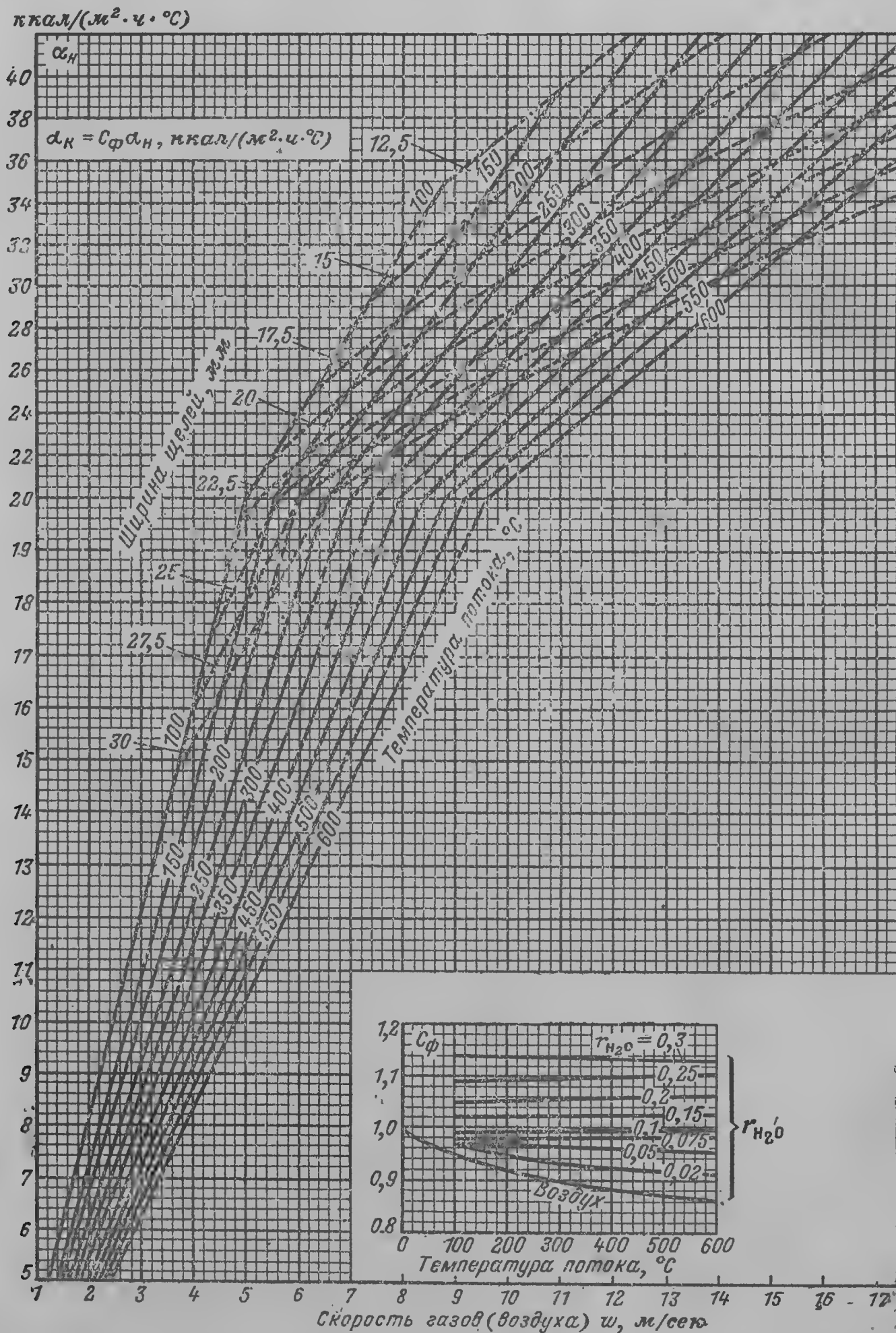


$a+b,$ мм	$C_{\text{н}}$	Примечание
0	0,9	Гладкие листы
2,4	1,15	Неинженсифицирован- ные набивки
$\geq 4,8$	1,6	Инженсифицирован- ные набивки



КОЭФФИЦИЕНТ ТЕПЛООТДАЧИ КОНВЕКЦИЕЙ ДЛЯ ПЛАСТИНЧАТЫХ
ВОЗДУХОПОДОГРЕВАТЕЛЕЙ ПРИ $Re < 10\,000$

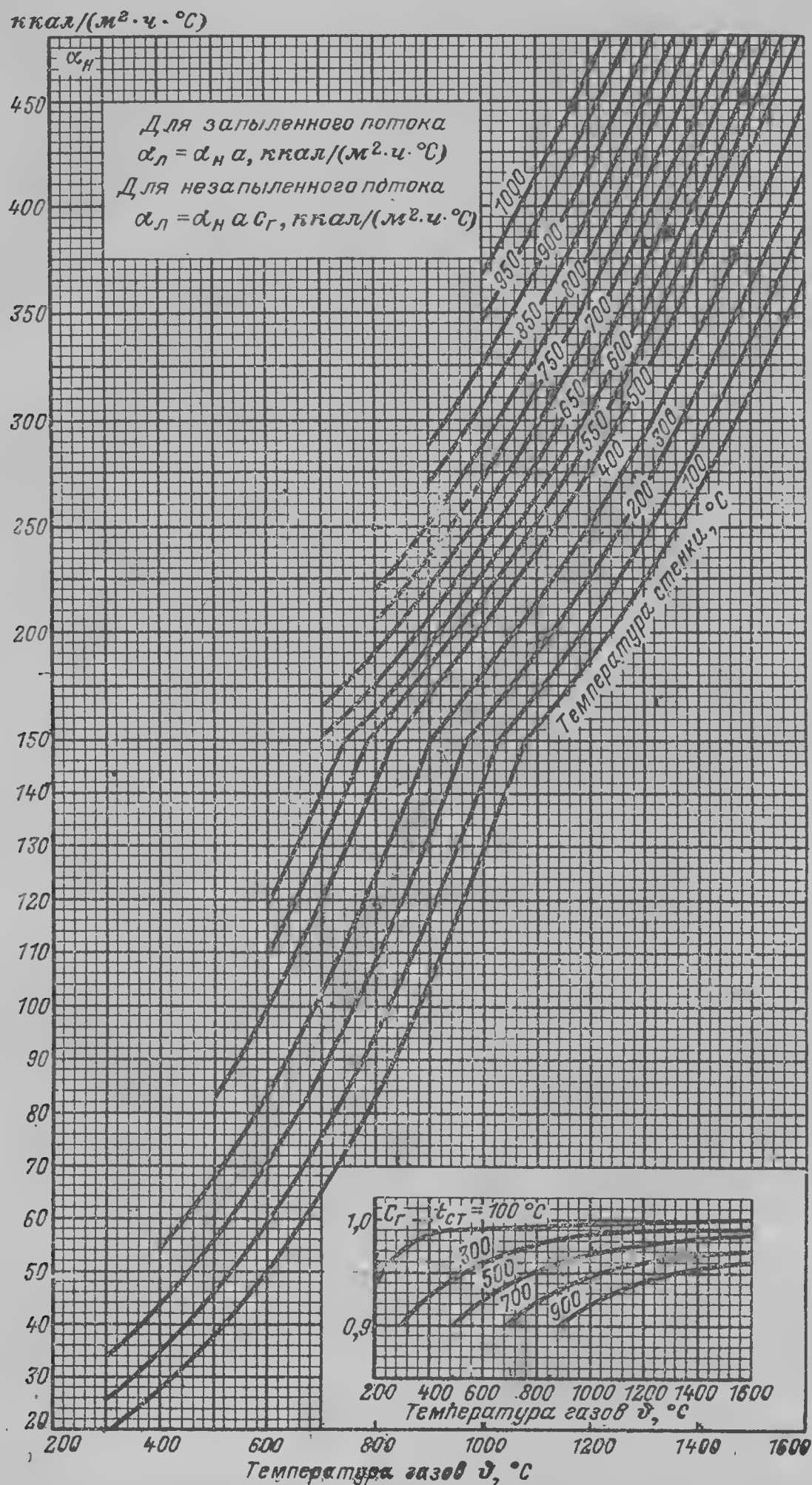
Номограмма 17



Пунктирные линии служат для проверки применимости номограммы. Если точка пересечения линий скорости и температуры лежит выше пунктирной линии, обозначенной соответствующей шириной щели, значение α определять по номограмме 14.

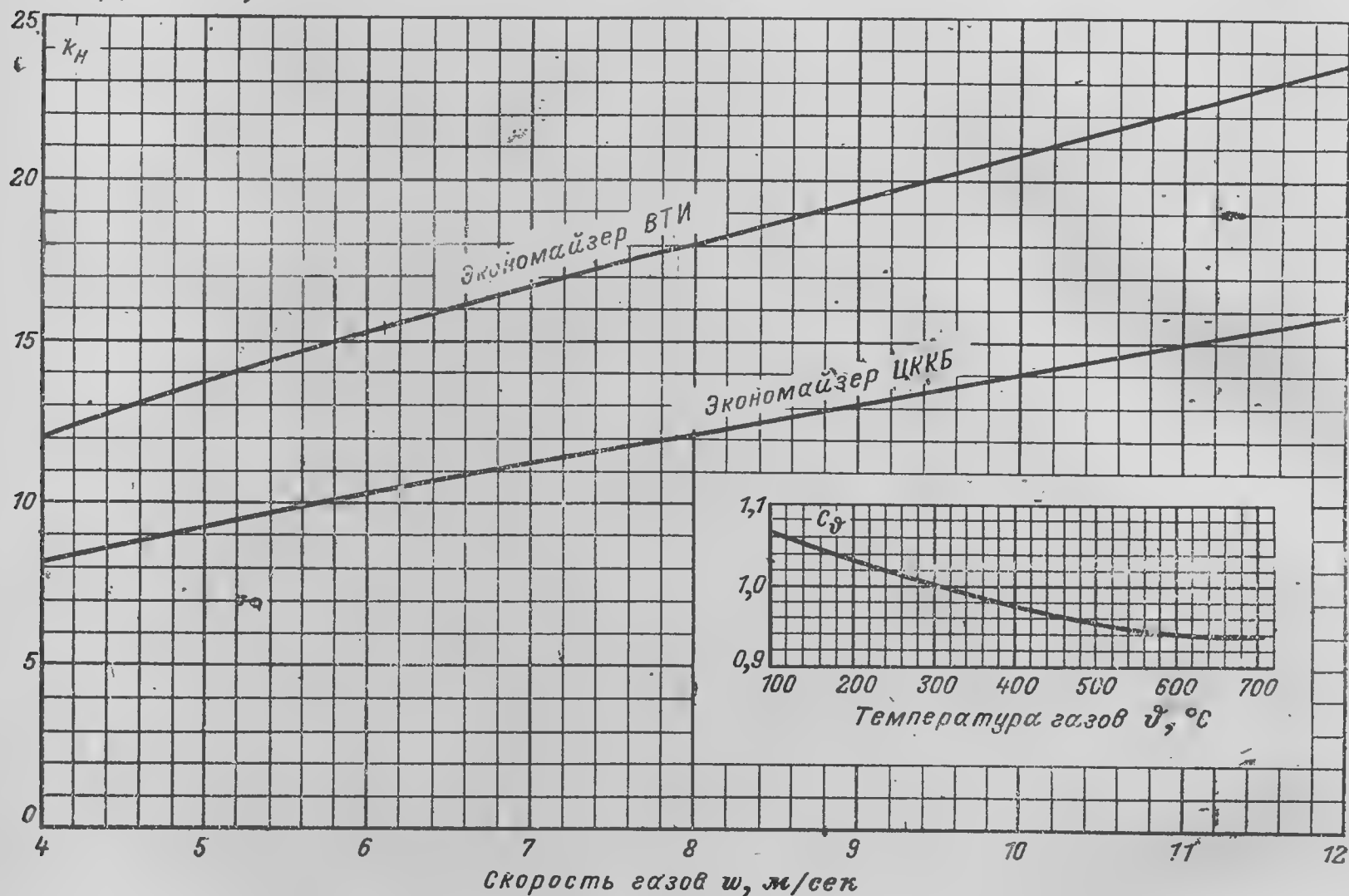
КОЭФФИЦИЕНТ ТЕПЛООТДАЧИ ИЗЛУЧЕНИЕМ

Номограмма 19



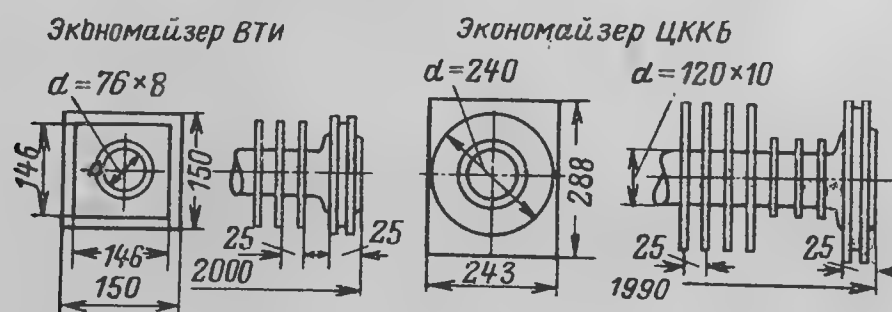
КОЭФФИЦИЕНТ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ ЧУГУННЫХ РЕБРИСТЫХ
ВОДЯНЫХ ЭКОНОМАЙЗЕРОВ ВТИ И ЦККБ

Номограмма 20

 $\text{ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C})$


$$k = k_H C_\delta, \text{ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}).$$

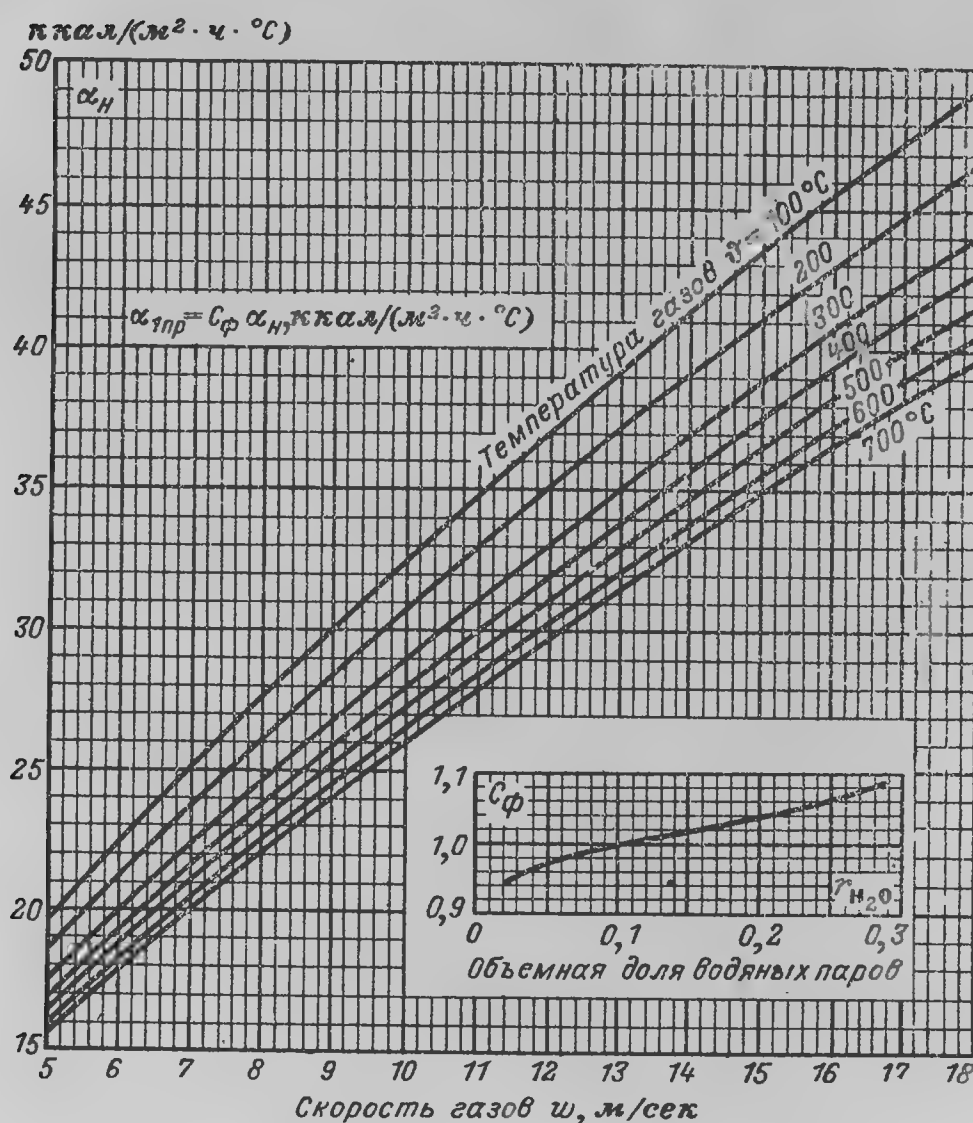
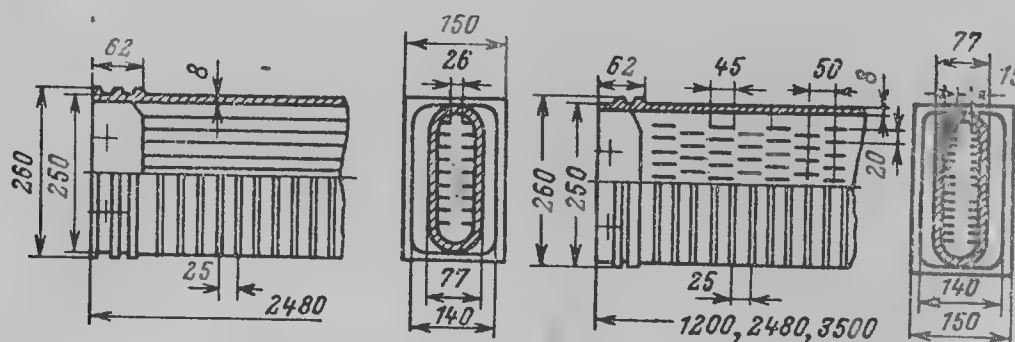
При сжигании мазута коэффициент теплопередачи чугунных ребристых экономайзеров снижается на 25%.



Характеристики одной трубы	Размерность	Экономайзер ВТИ				Экономайзер ЦККБ
Длина	мм	1 500	2 000	2 500	3 000	1 990
Поверхность нагрева с газовой стороны	м ²	2,18	2,95	3,72	4,49	5,50
Живое сечение для прохода газов	"	0,088	0,120	0,152	0,184	0,21

ПРИВЕДЕННЫЕ КОЭФФИЦИЕНТЫ ТЕПЛООТДАЧИ С ГАЗОВОЙ СТОРОНЫ
ЧУГУННЫХ РЕБРИСТЫХ И РЕБРИСТО-ЗУБЧАТЫХ
ВОЗДУХОПОДОГРЕВАТЕЛЕЙ

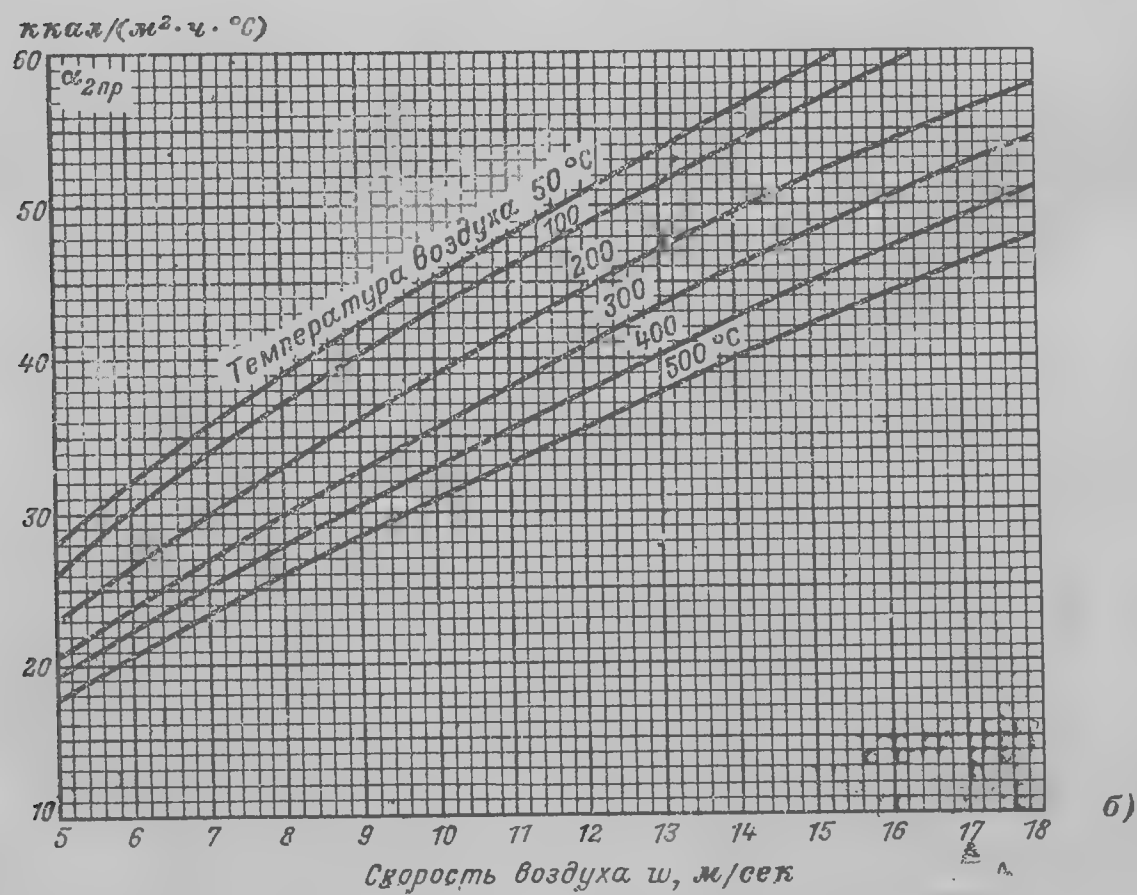
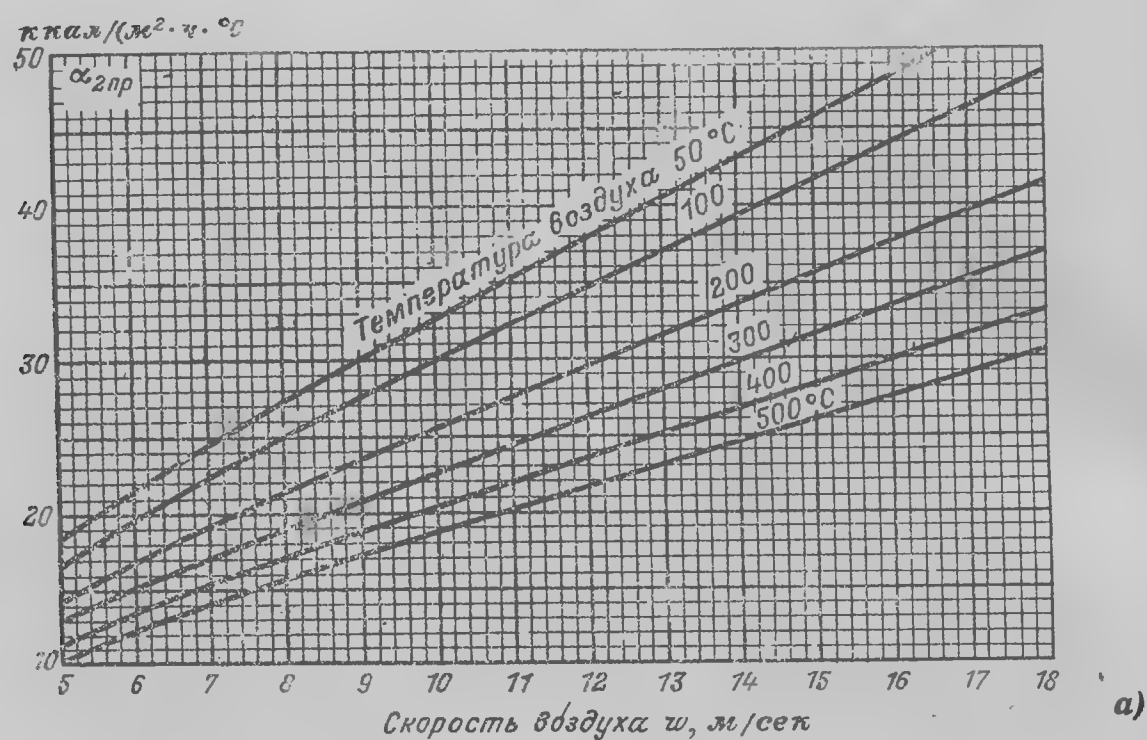
Номограмма 21



Параметр	Размерность	Рибристая труба	Рибристо-зубчатые трубы		
Длина трубы полная	мм	2 480	1 200	2 480	3 500
Длина ребренной части трубы	"	2 275	1 000	2 275	3 300
Поверхность нагрева с газовой стороны	м²	4,11	1,91	4,11	5,78
Поверхность нагрева с воздушной стороны	"	2,57	1,12	2,46	3,56
Живое сечение для газов	"	0,139	0,064	0,139	0,202
Живое сечение для воздуха	"	0,0118	0,011	0,011	0,011
Масса трубы	кг	—	73	162	240
Эквивалентный диаметр с воздушной стороны	м	0,0425	0,0342	0,0342	0,0342

ПРИВЕДЕННЫЕ КОЭФФИЦИЕНТЫ ТЕПЛООТДАЧИ С ВОЗДУШНОЙ СТОРОНЫ
ЧУГУННЫХ РЕБРИСТЫХ И РЕБРИСТО-ЗУБЧАТЫХ
ВОЗДУХОПОДОГРЕВАТЕЛЕЙ

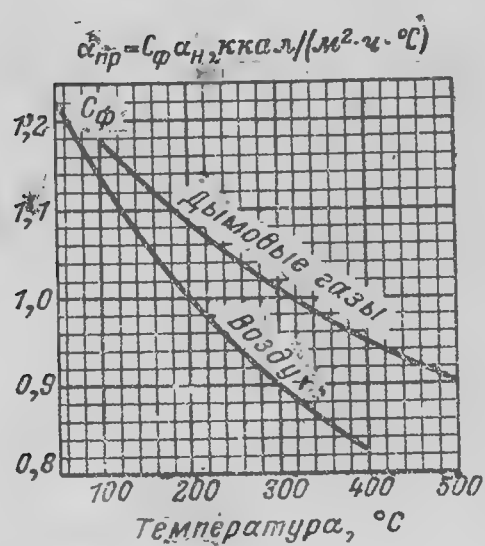
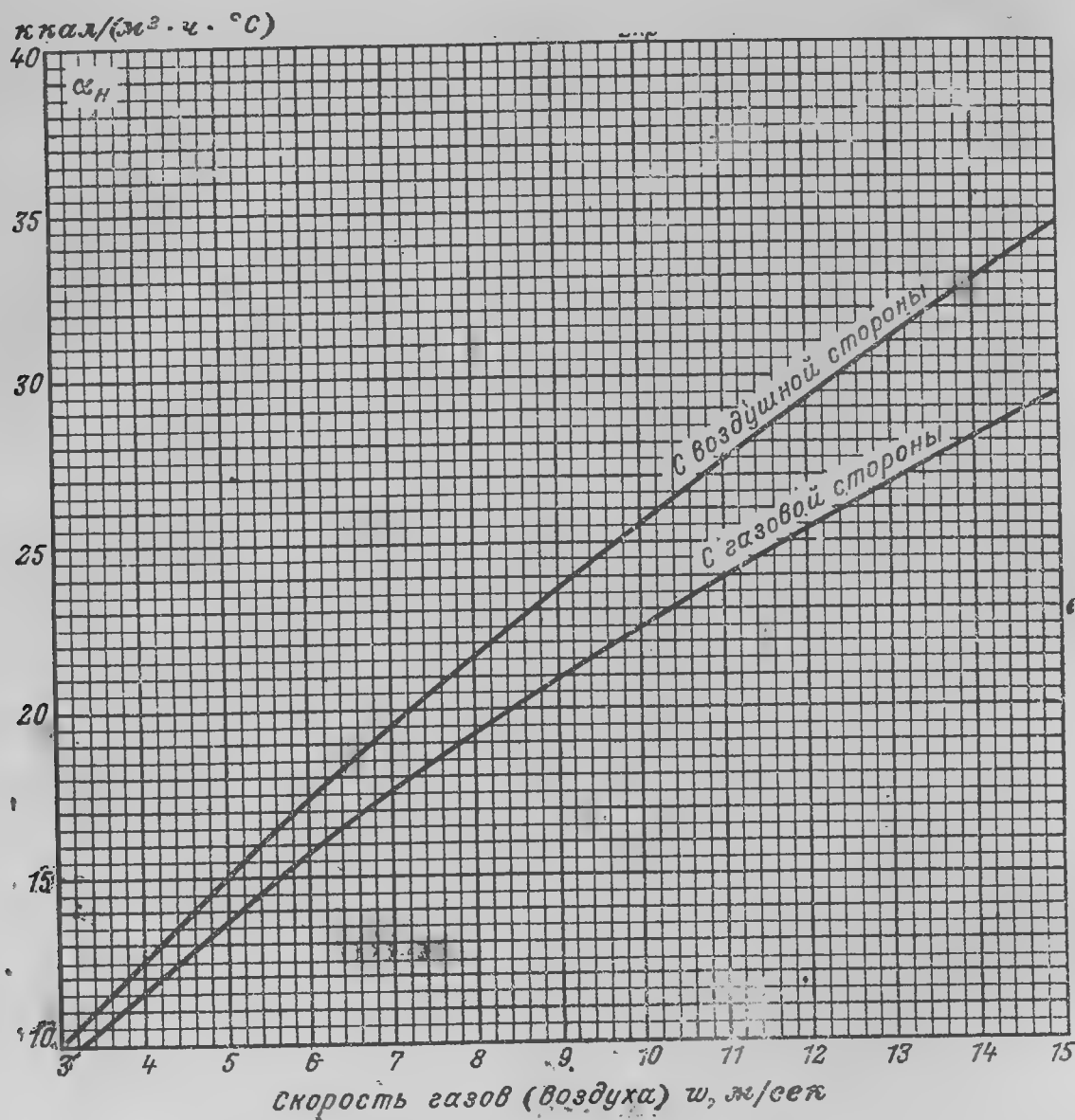
Номограмма 22



а — ребристый воздухоподогреватель; б — ребристо-зубчатый воздухоподогреватель.

ПРИВЕДЕННЫЕ КОЭФФИЦИЕНТЫ ТЕПЛОТДАЧИ ЧУГУННОГО
РЕБРИСТОГО ПЛИТЧАТОГО ВОЗДУХОПОДОГРЕВАТЕЛЯ
КУСИНСКОГО ЗАВОДА

Номограмма 23



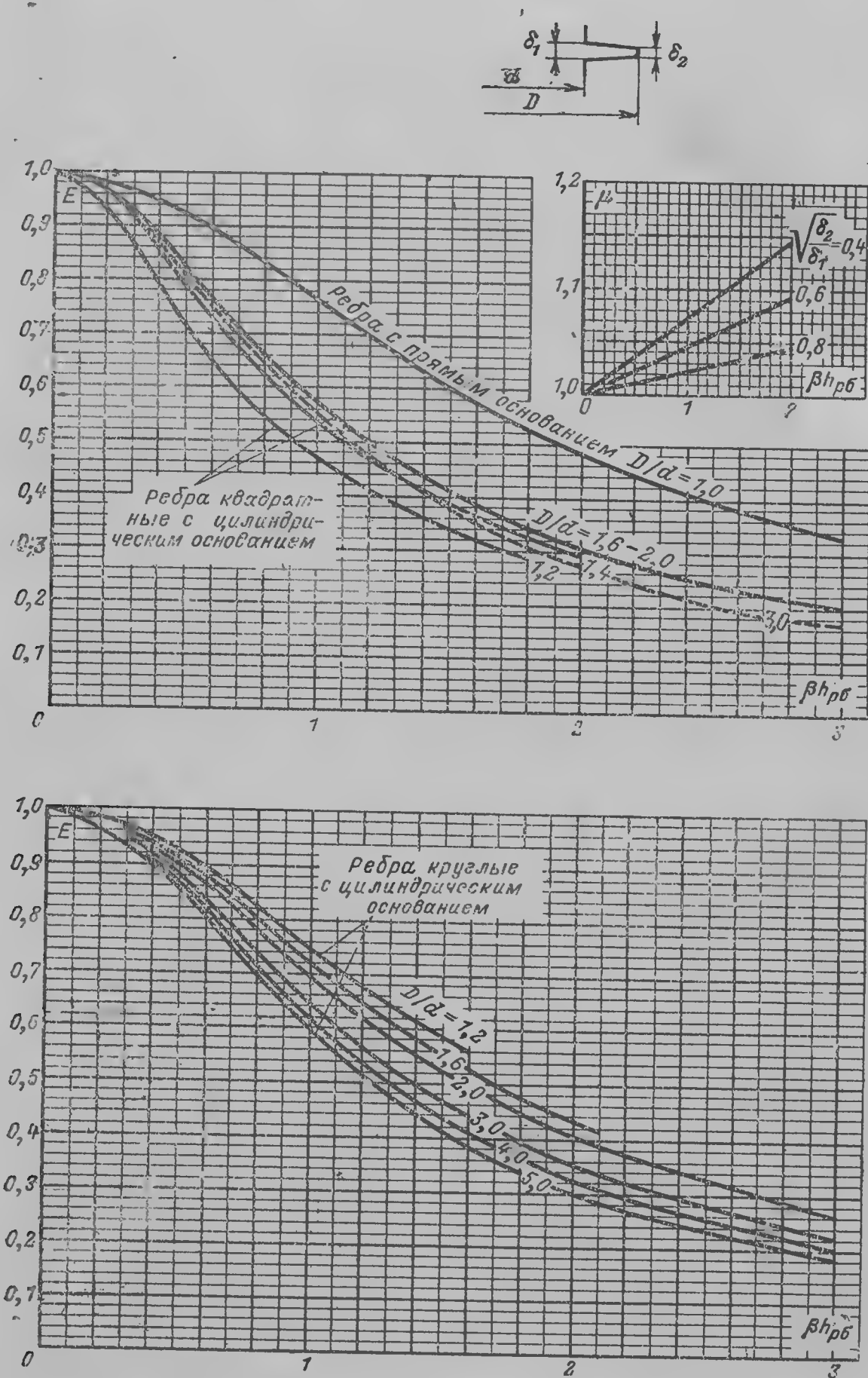
Характеристика плиты

Поверхность нагрева с газовой стороны $H_{\Gamma} = 4,8 \text{ м}^2$.
Поверхность нагрева с воздушной стороны $H_{\text{в}} = 2,82 \text{ м}^2$.
Живое сечение с газовой стороны $F_{\Gamma} = 0,0485 \text{ м}^2$.
Живое сечение с воздушной стороны $f_{\text{в}} = 0,0275 \text{ м}^2$.

$$k = \xi \frac{\alpha_{1\text{пр}} \alpha_{2\text{пр}}}{1,7 \alpha_{1\text{пр}} + \alpha_{2\text{пр}}}, \text{ kcal/(м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{°C)}.$$

КОЭФФИЦИЕНТ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕБЕР

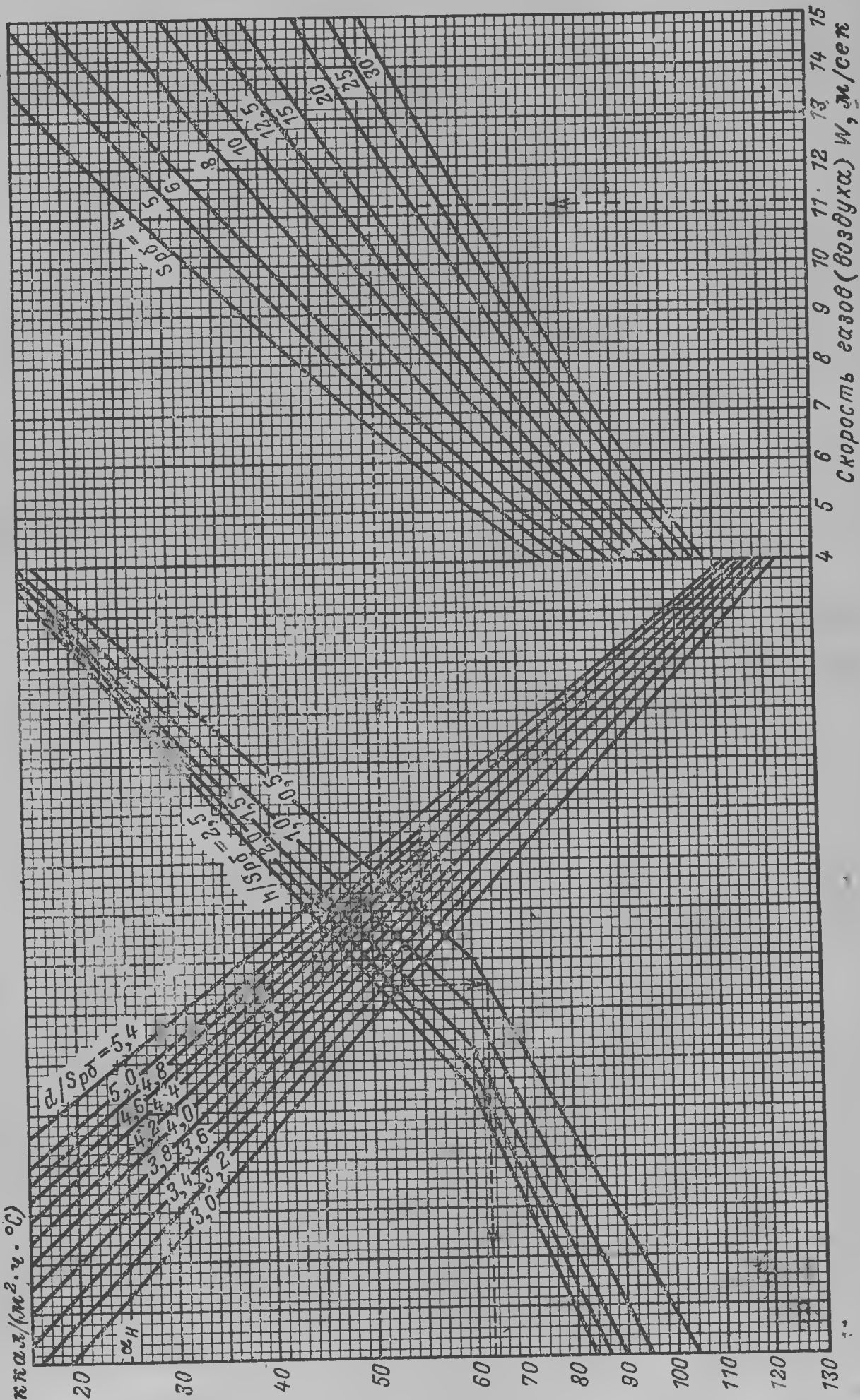
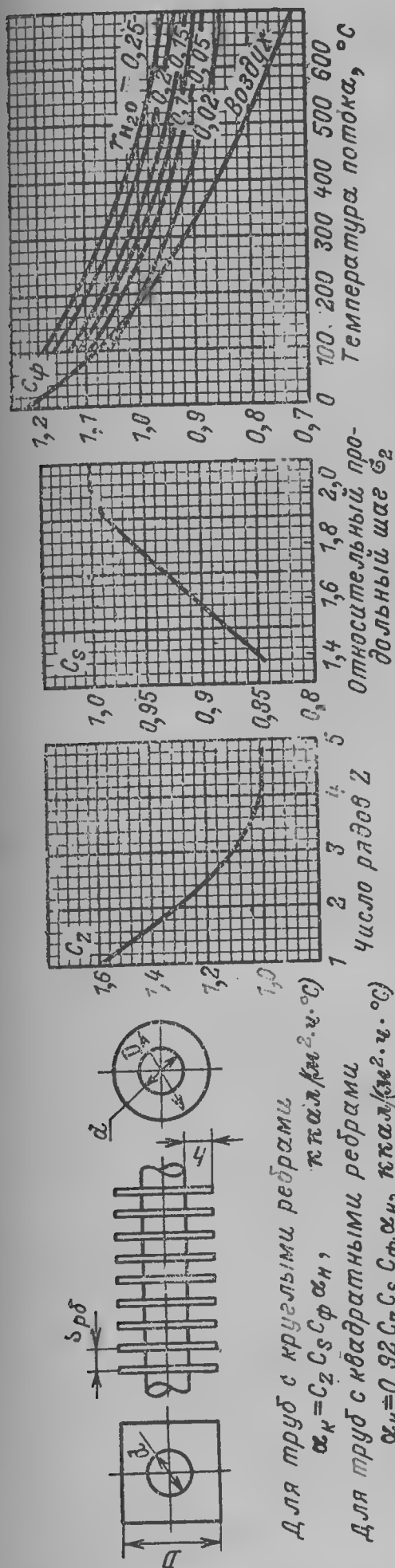
Номограмма 24



Для цилиндрических стержней из проволоки (проволочно-оребранных калориферов) E принимается по кривой для ребер с прямым основанием $D/d=1,0$.

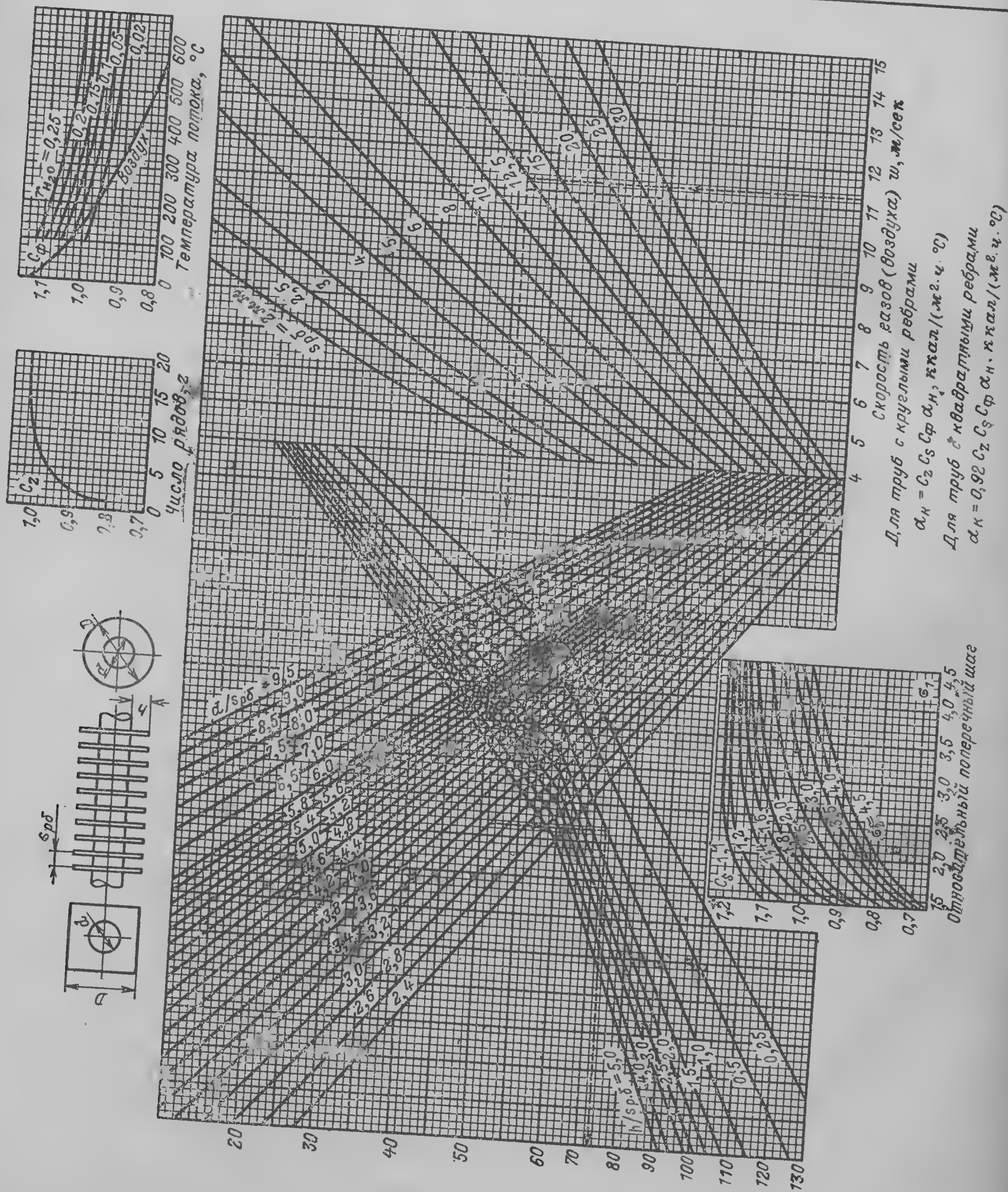
КОЭФФИЦИЕНТ ТЕПЛООТДАЧИ КОНВЕКЦИЕЙ КОРИДОРНЫХ ПУЧКОВ ТРУБ
С ПОПЕРЕЧНЫМИ ЛЕНТОЧНЫМИ И ШАЙБОВЫМИ РЕБРАМИ

Номограмма 25



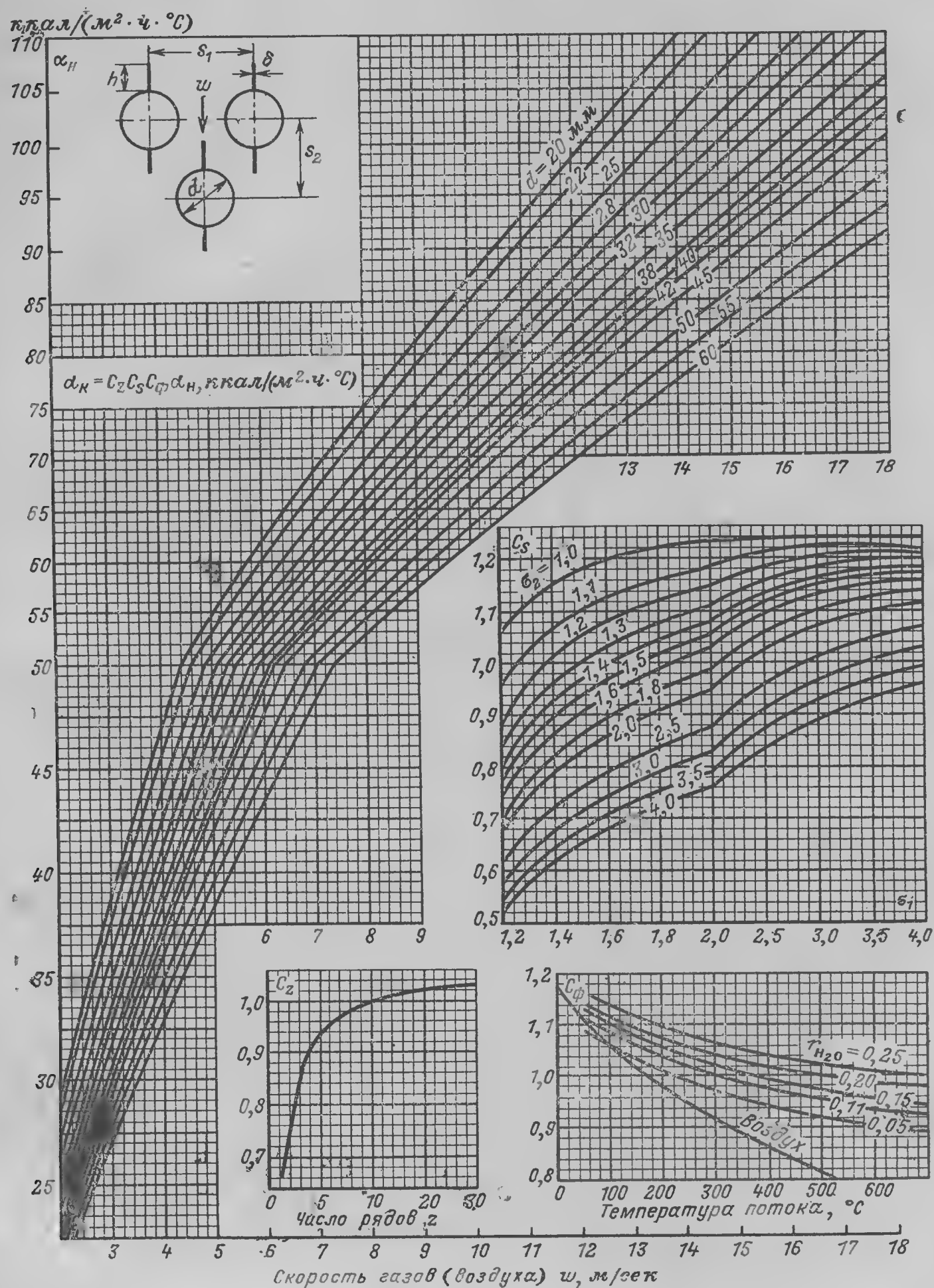
КОЭФФИЦИЕНТ ТЕПЛООТДАЧИ КОНВЕКЦИИ ШАХМАТНЫХ ПУЧКОВ ТРУБ С ПОПЕРЕЧНЫМИ ЛЕНТОЧНЫМИ И ШАЙБОВЫМИ РЕБРАМИ

Номограмма 26



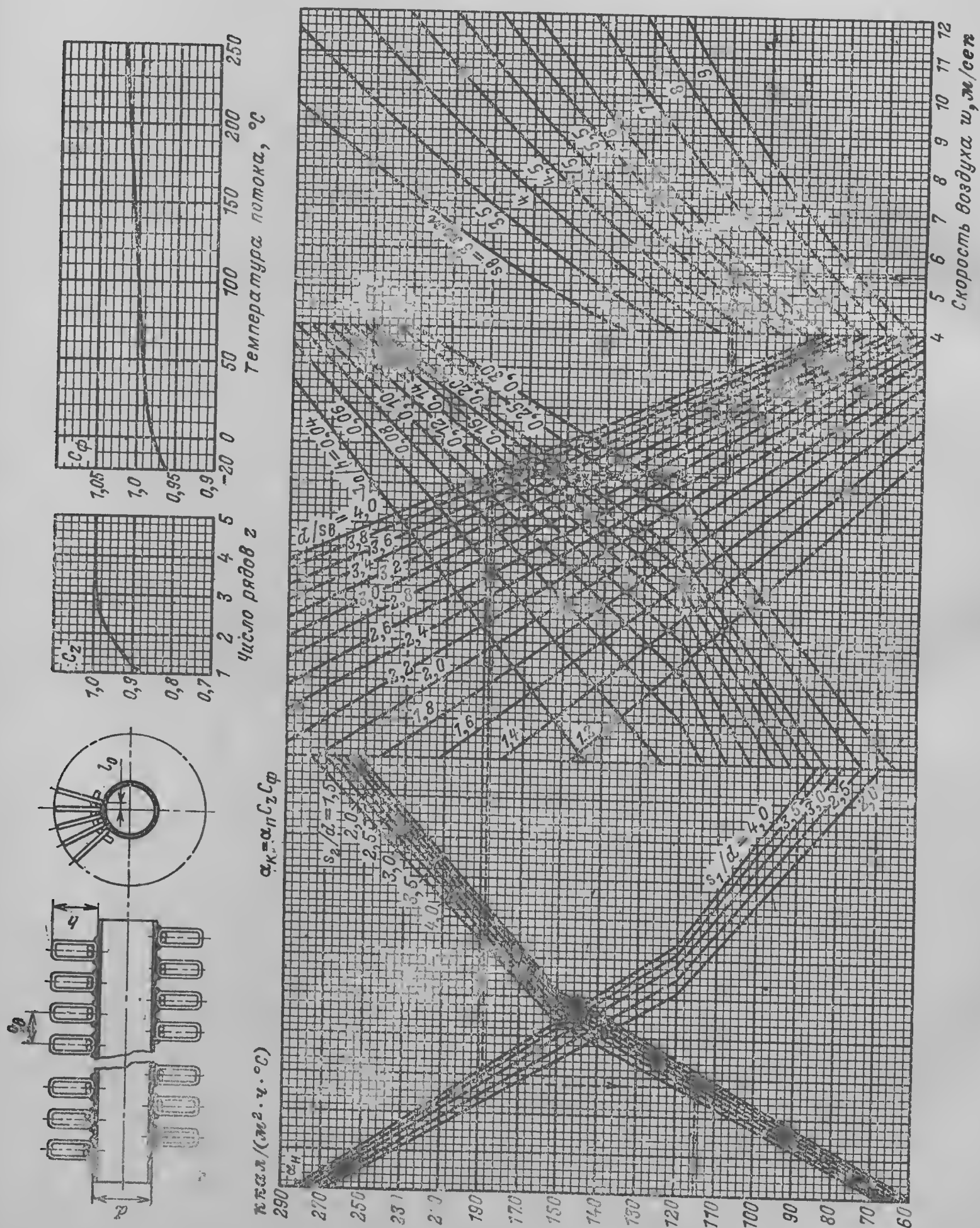
КОЭФФИЦИЕНТ ТЕПЛООТДАЧИ КОНВЕКЦИЕЙ ШАХМАТНЫХ ПУЧКОВ ТРУБ
С ПЛАВНИКАМИ

Номограмма 27



КОЭФФИЦИЕНТ ТЕПЛООТДАЧИ КОНВЕКЦИЕЙ ШАХМАТНЫХ ПУЧКОВ ТРУБ С ПРОВОЛОЧНЫМ ОРЕБРЕНИЕМ

Номограмма 28

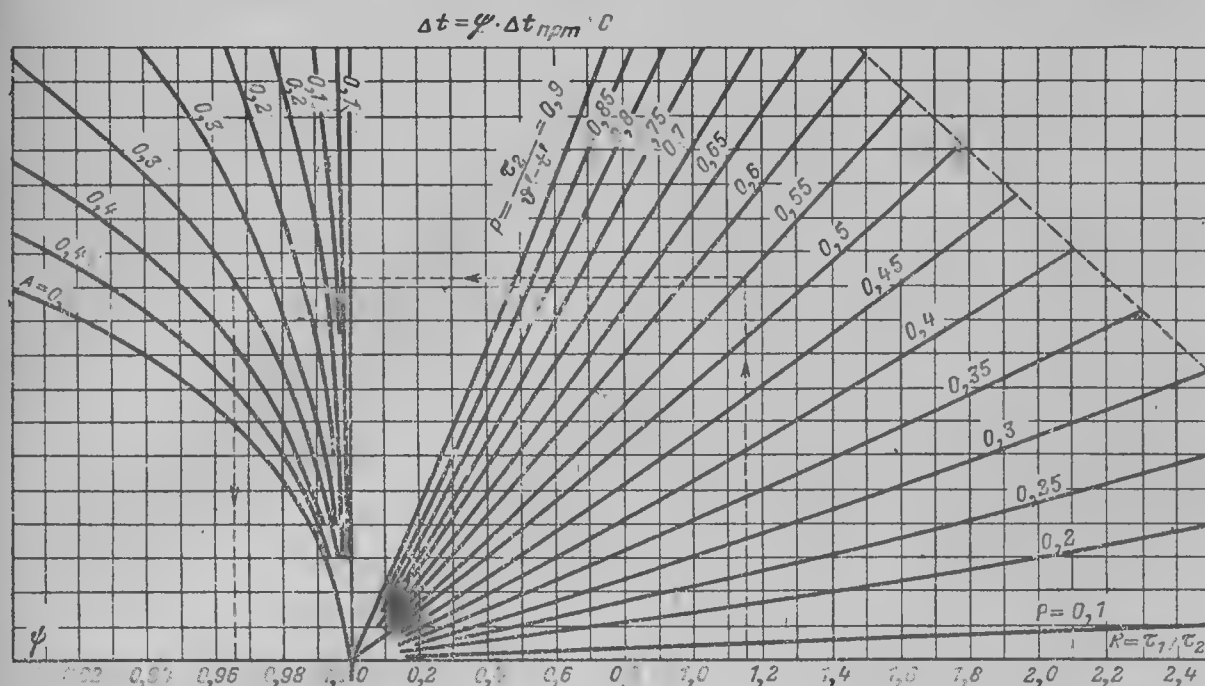


Характеристика проволочно-оребрённых труб калорифера СО-110 (Тюменского з-да)

$d \times \delta$	S_n	h	l_0	d_0	a	s_1/d	s_2/d	F/F_n	H	H_{p6}	ϕ
16X2,5	5,0	8,0	0,84	0,5	3,2	2,13	1,81	0,405	0,365	0,347	1,5

ТЕМПЕРАТУРНЫЙ НАПОР ПРИ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО-СМЕШАННОМ ТОКЕ

Номограмма 29



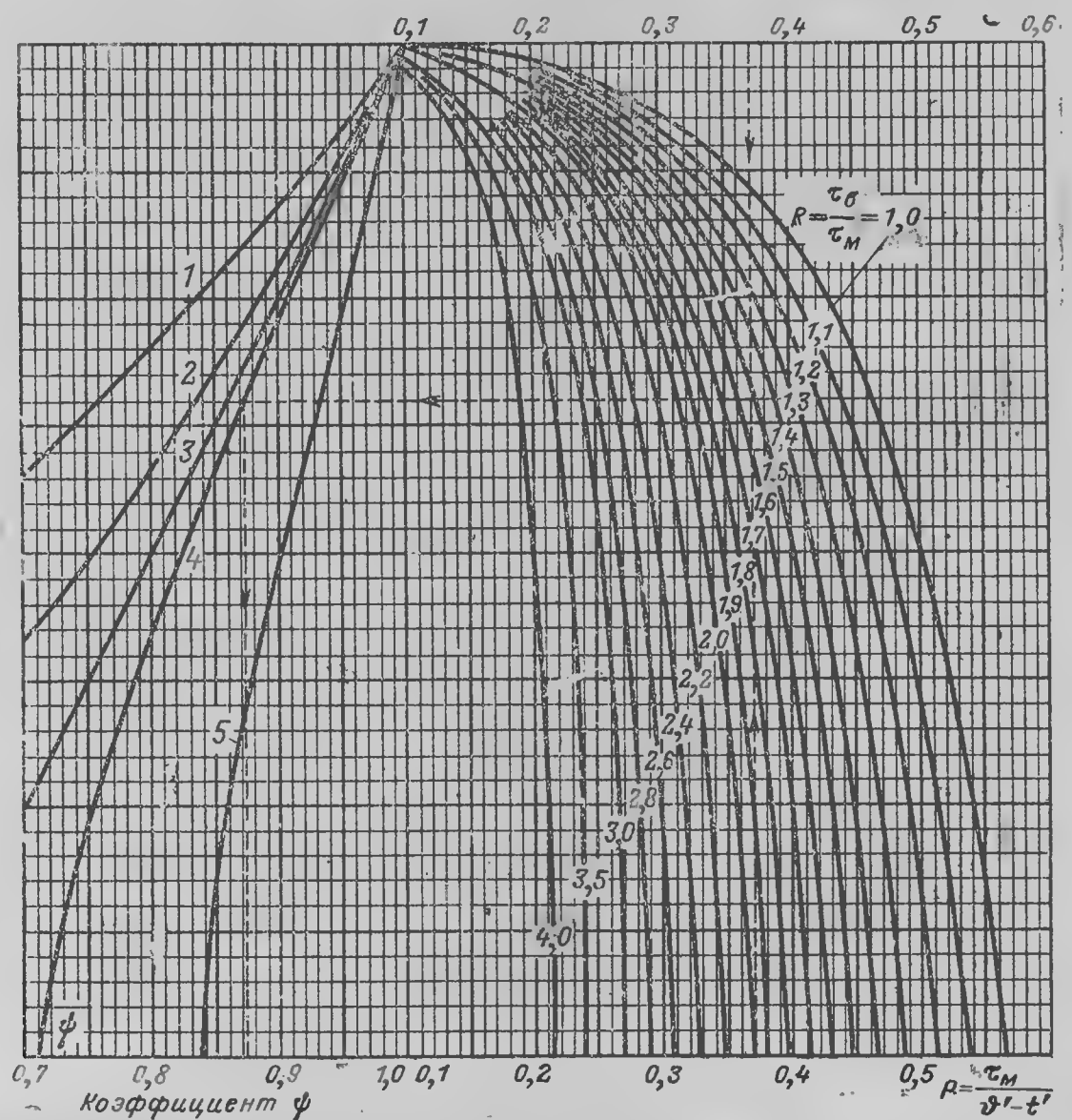
A — отношение поверхности нагрева участка с прямотоком к полной поверхности нагрева.

Примечания: 1. Для схем с последовательно-смешанным током, отличающихся от указанных на рис. 7-12, номограмма неприменима.

2. Номограмму не экстраполировать. Если при пользовании ею для конкретного случая приходится в какой-либо части выйти за пределы изображенных линий, расчет Δt следует вести по частям.

ТЕМПЕРАТУРНЫЙ НАПОР ПРИ ПАРАЛЛЕЛЬНО-СМЕШАННОМ ТОКЕ

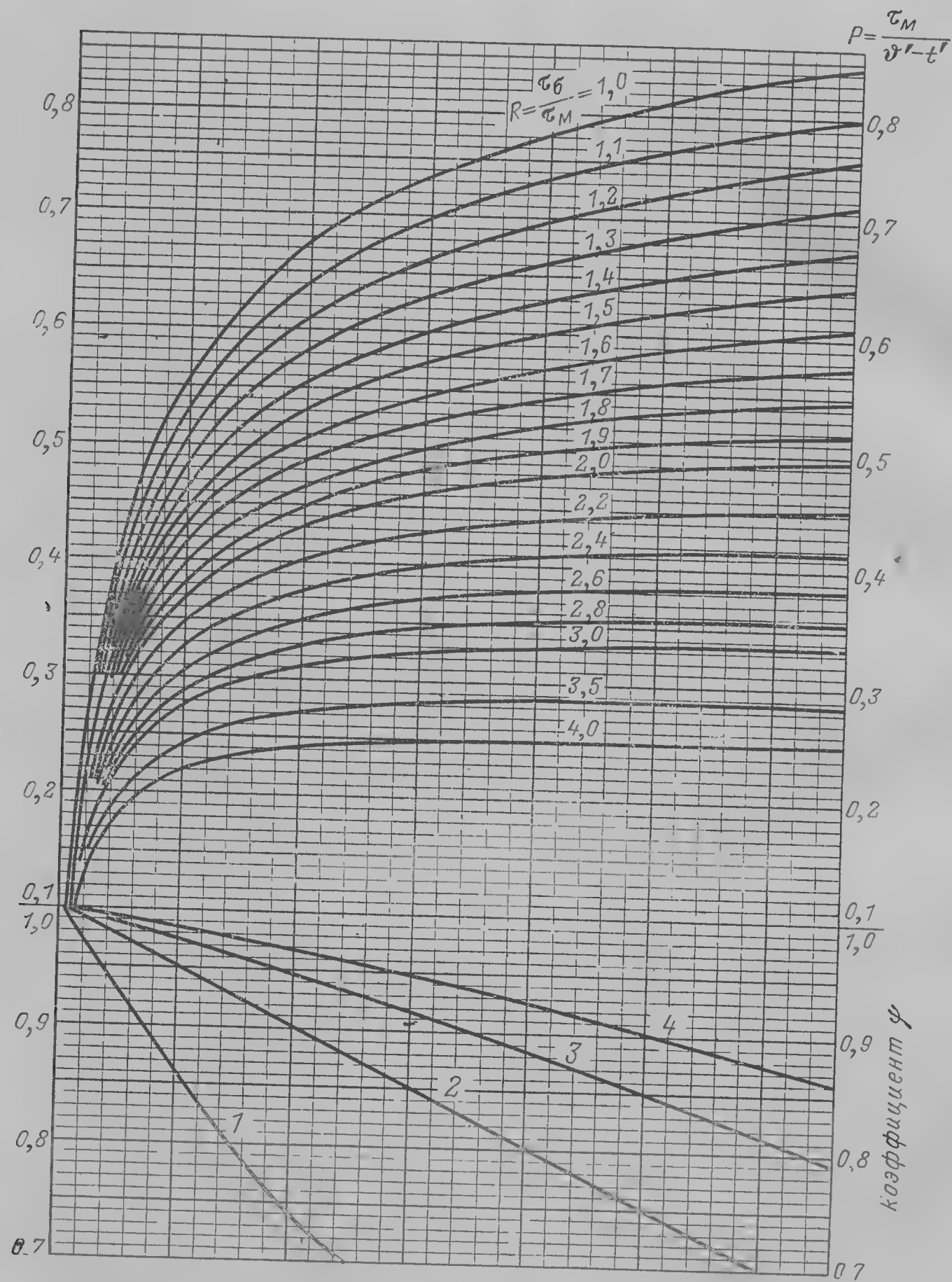
Номограмма 30



1 — оба хода многоходовой среды — прямоточные; 2 — три хода многоходовой среды: два — прямо- и один — противоточный; 3 — два хода многоходовой среды: один — против- и один — прямоточный; 4 — три хода многоходовой среды: два — против- и один — прямоточный; 5 — оба хода многоходовой среды — противоточные.

ТЕМПЕРАТУРНЫЙ НАПОР ПРИ ПЕРЕКРЕСТНОМ ТОКЕ

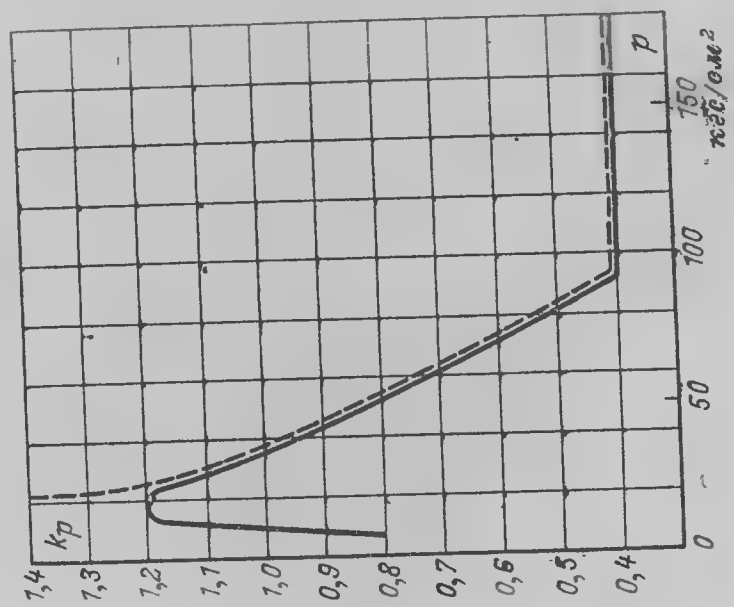
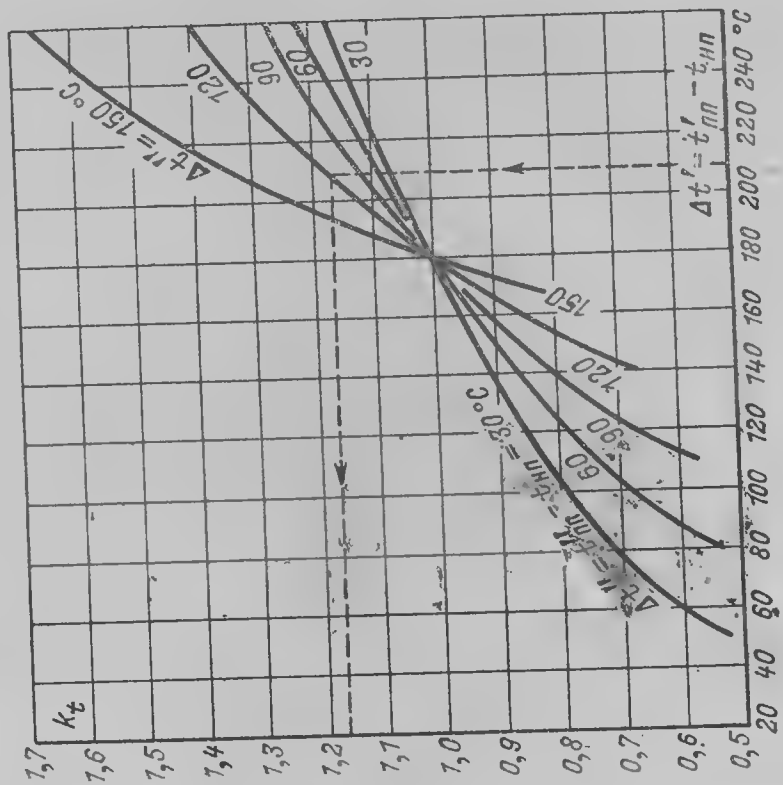
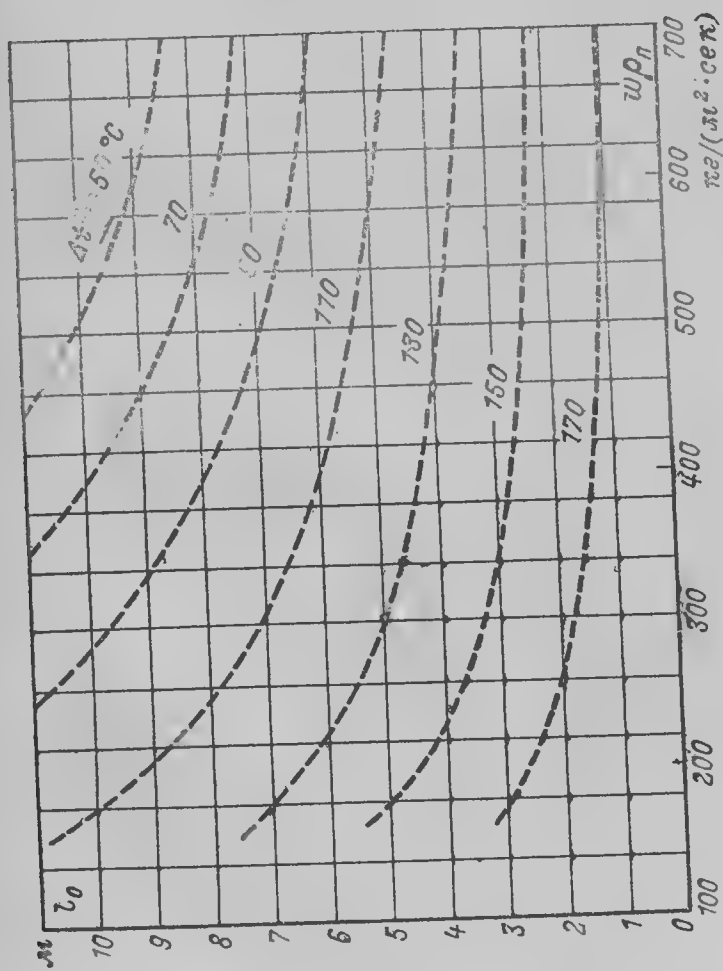
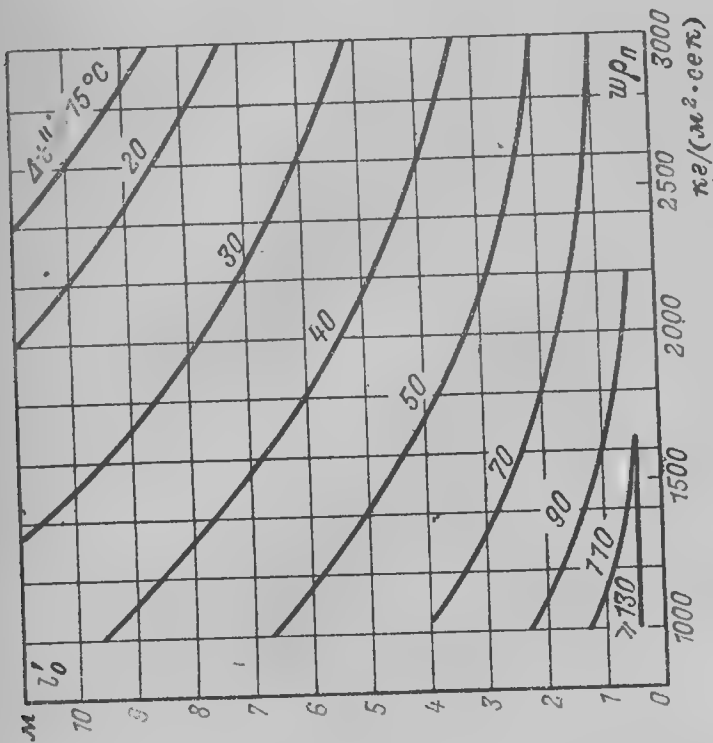
Номограмма 31



1 — однократный перекрест; 2 — двукратный перекрест; 3 — трехкратный перекрест; 4 — четырехкратный перекрест.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЛИНЫ ЗАЩИТНОЙ РУБАШКИ ВПРЫСКИВАЮЩИХ
ПАРООХЛАДИТЕЛЕЙ

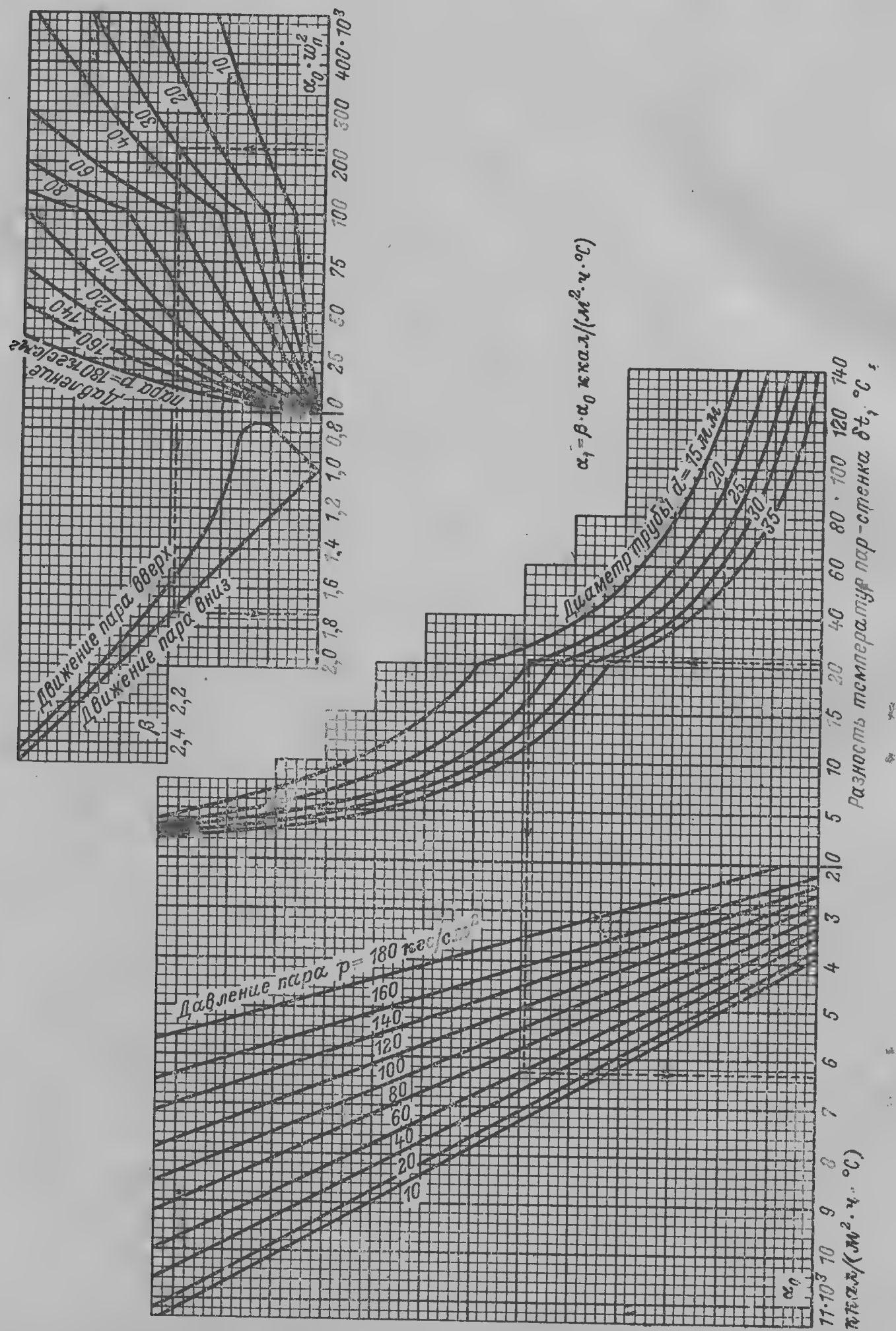
Номограмма 32



— при наличии трубы Вентури; — — — при отсутствии трубы Вентури. При отсутствии трубы Вентури $l_{всп} = l_0 k_p k_t$, м; при наличии трубы Вентури $l_{всп} = 5,6 m'_{окр} k_t$, м.

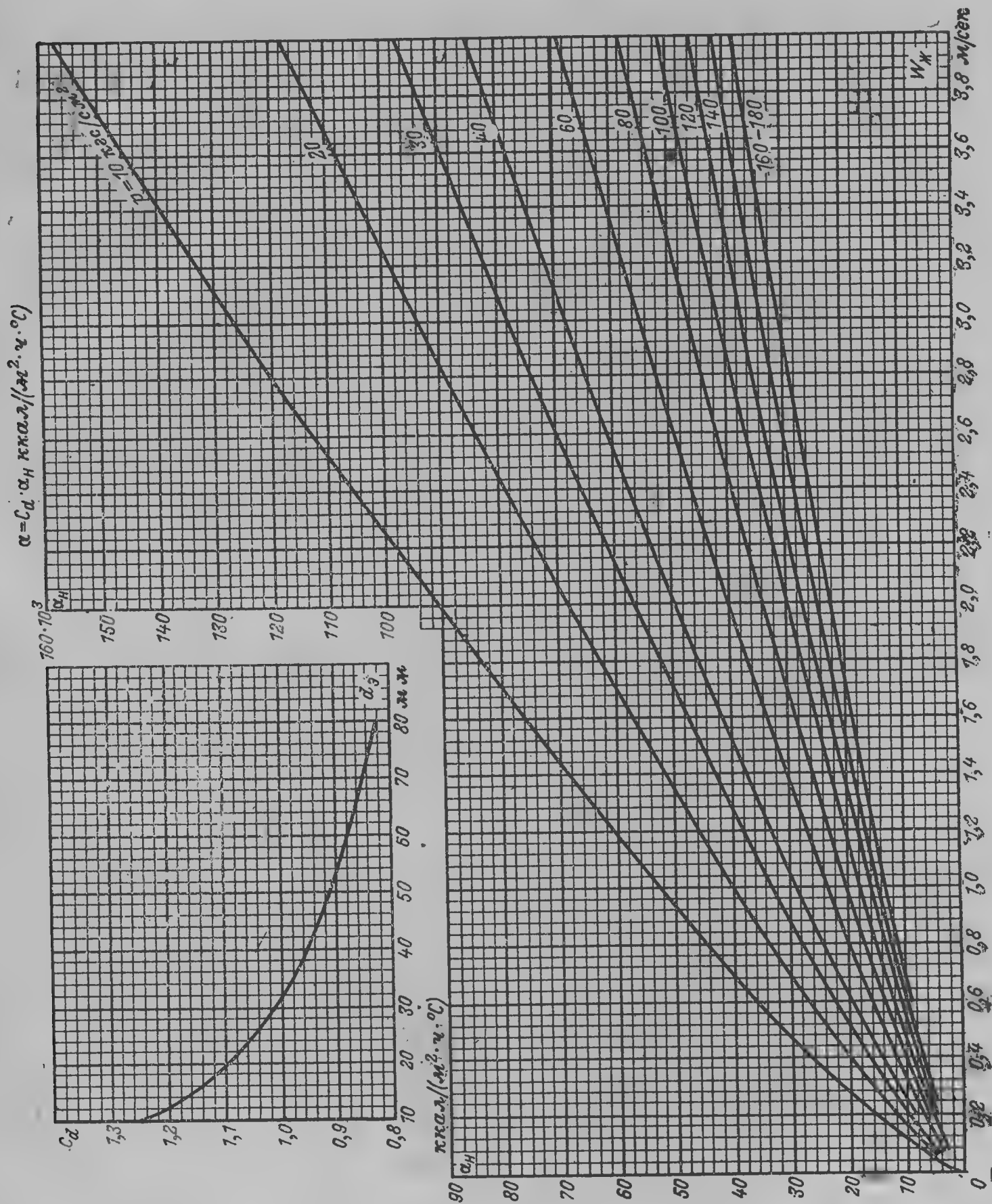
КОЭФФИЦИЕНТ ТЕПЛООТДАЧИ ПРИ КОНДЕНСАЦИИ ПАРА
В ПУЧКЕ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ТРУБ

Номограмма 33

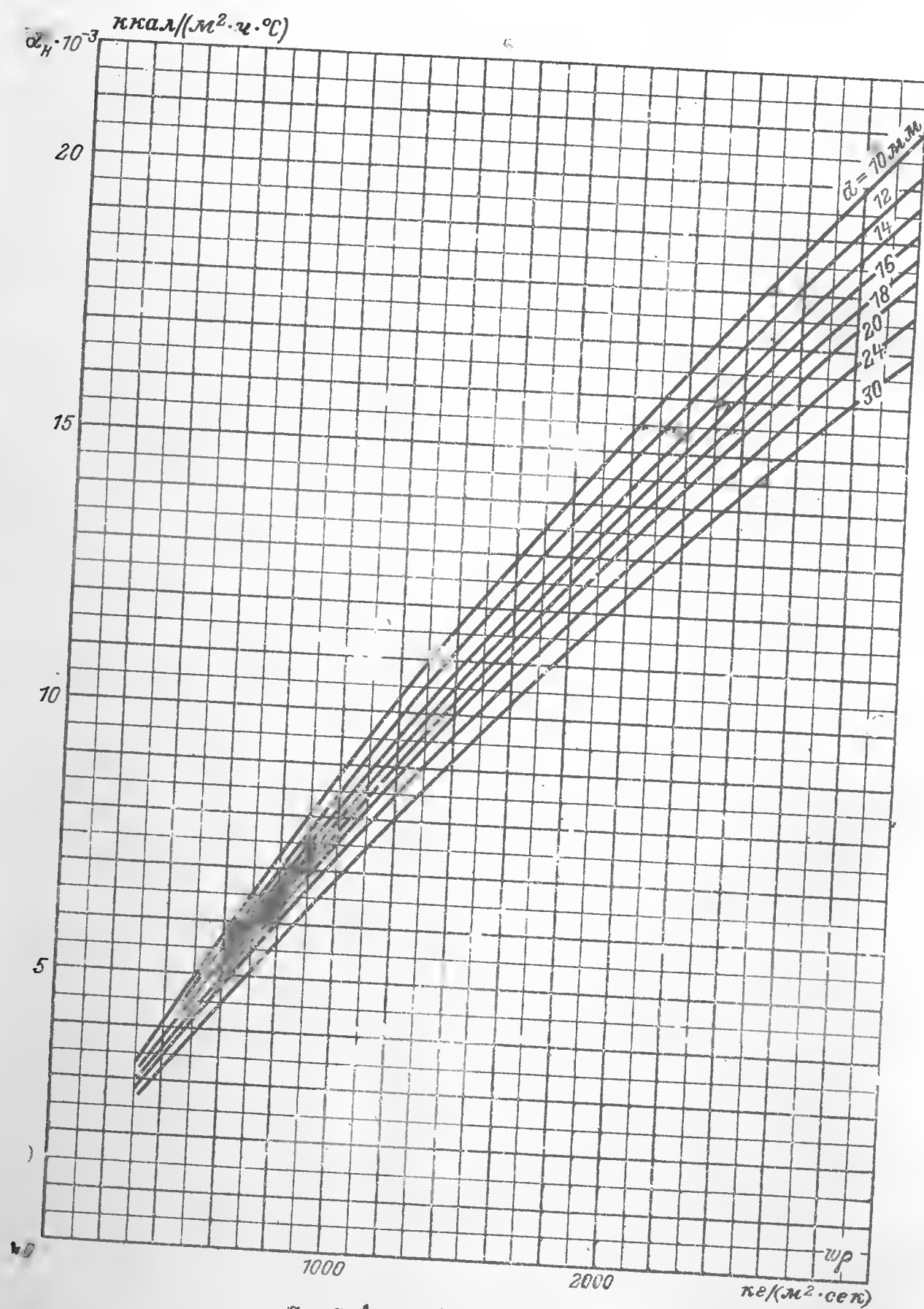


КОЭФФИЦИЕНТ ТЕПЛОТДАЧИ ПРИ КОНДЕНСАЦИИ ПАРА,
ДВИЖУЩЕГОСЯ ВДОЛЬ ВЕРТИКАЛЬНОЙ ТРУБЫ

Номограмма 34



КОЭФФИЦИЕНТ ТЕПЛООТДАЧИ ПРИ СВЕРХКРИТИЧЕСКОМ ДАВЛЕНИИ

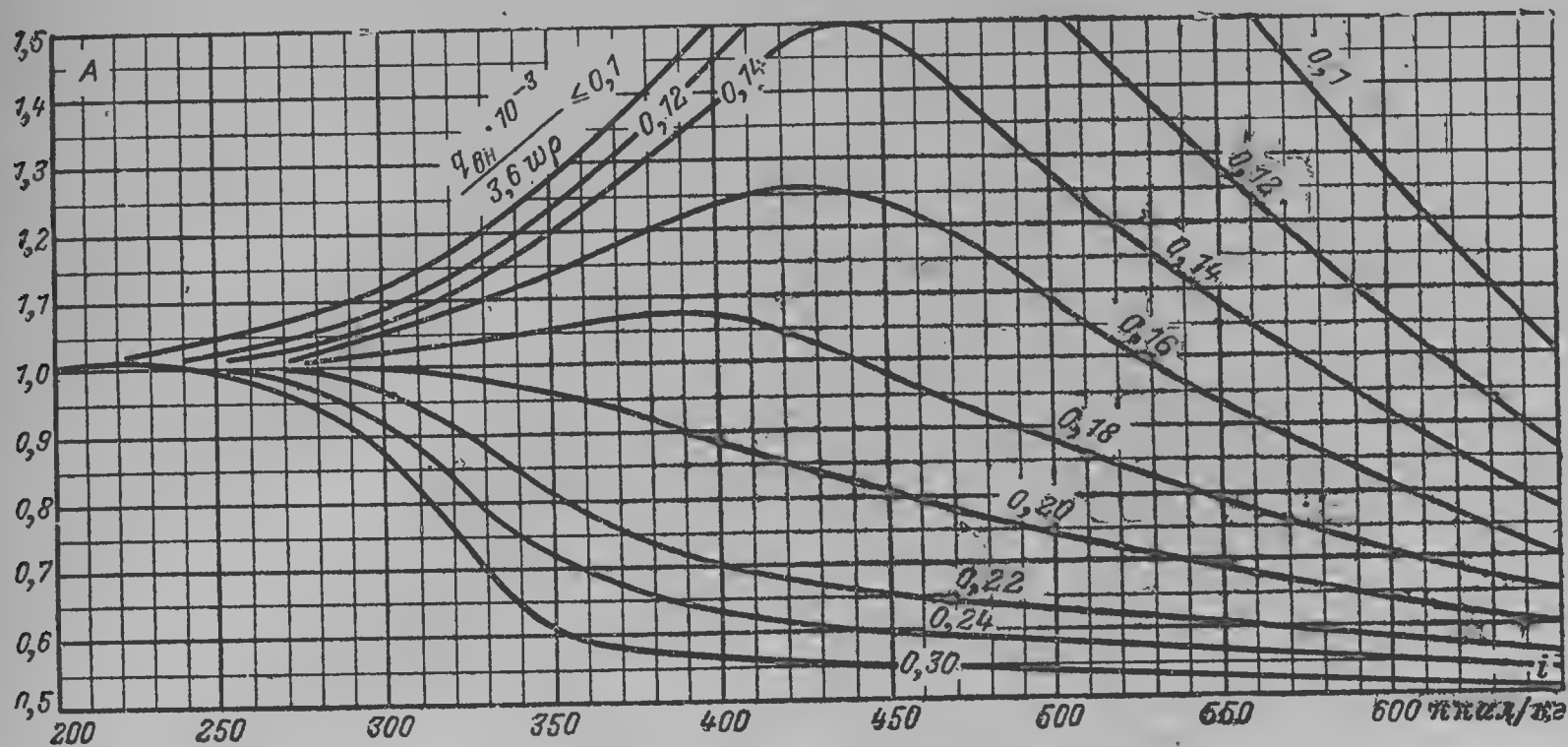


$$\alpha_2 = \alpha_n A, \text{ ккал/(м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C)}.$$

Если по величине параметра $\frac{q_{\text{вн}} 10^{-3}}{3,6 \omega p}$ значения A выходят за пределы номограммы, принимать A равным 1,5.

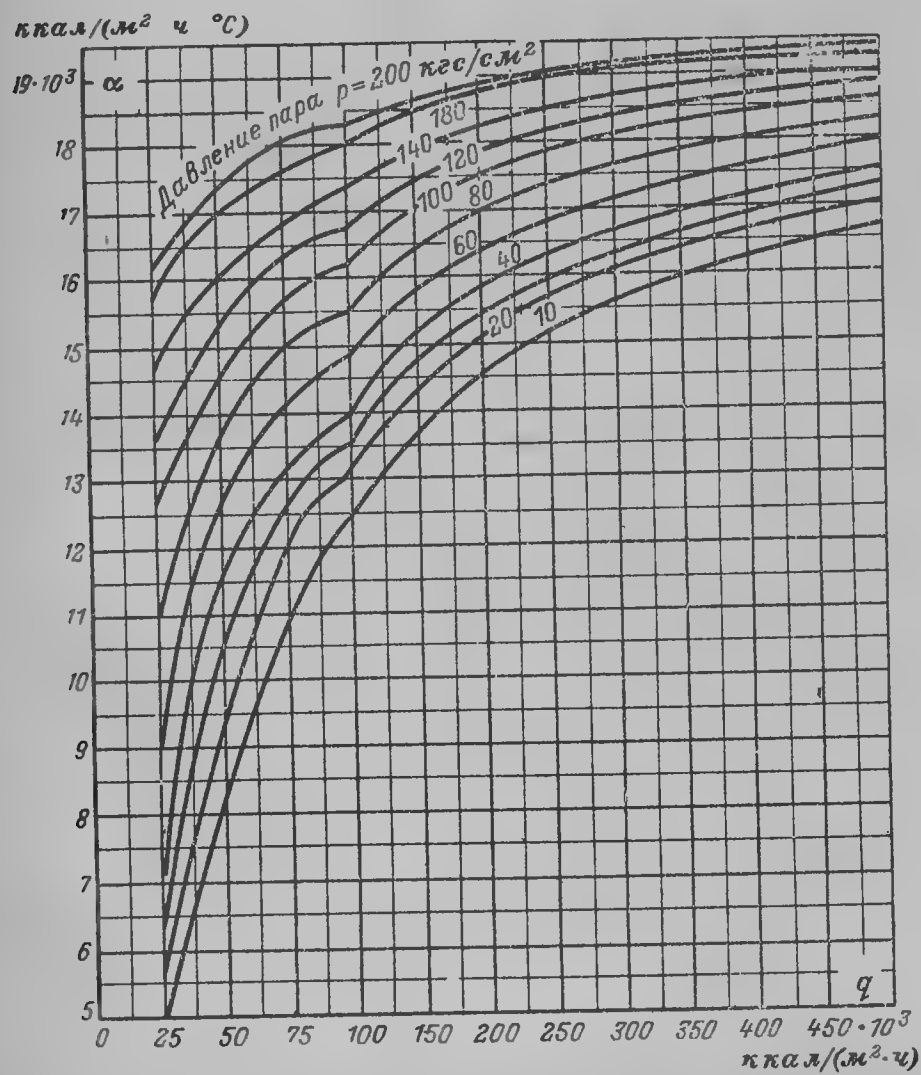
В ОБЛАСТИ БОЛЬШИХ ТЕПЛОЕМКОСТЕЙ

Номограмма 35



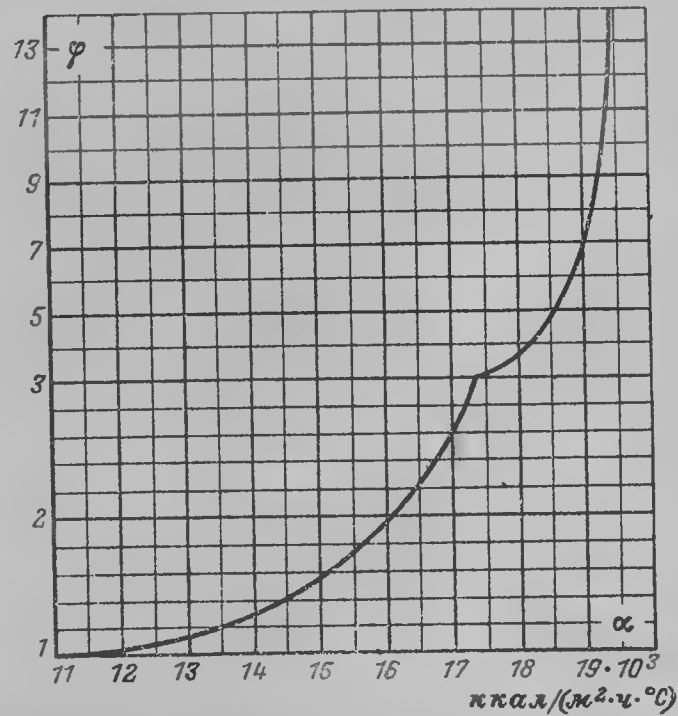
КОЭФФИЦИЕНТ ТЕПЛООТДАЧИ ПРИ ПРОДОЛЬНОМ ОМЫВАНИИ
ДЛЯ КИПАЮЩЕЙ ВОДЫ

Номограмма 36



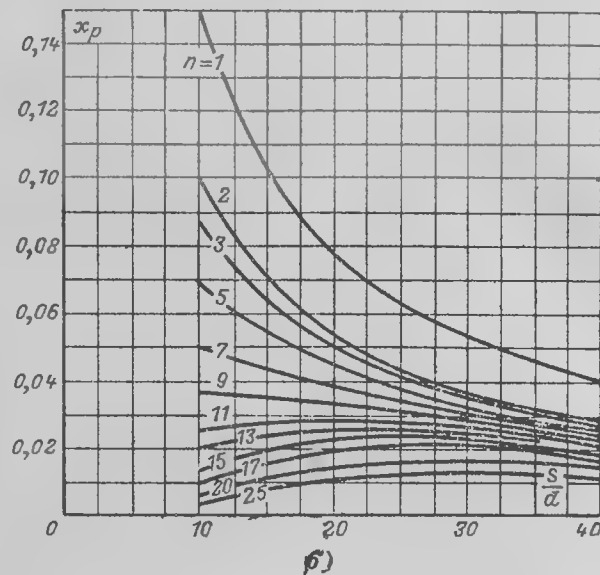
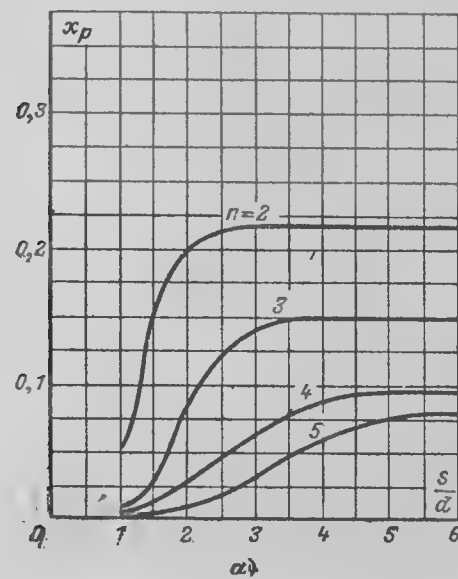
Для легированных нержавеющей
труб $\alpha_{\text{ч}} = \alpha_{\text{ф}}$, ккал/(м²·ч·°C).

$$\alpha_{\text{ч}} = \alpha_{\text{ф}}$$



УГЛОВЫЕ КОЭФФИЦИЕНТЫ ШИРМОВЫХ И ЗМЕЕВИКОВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ НАГРЕВА

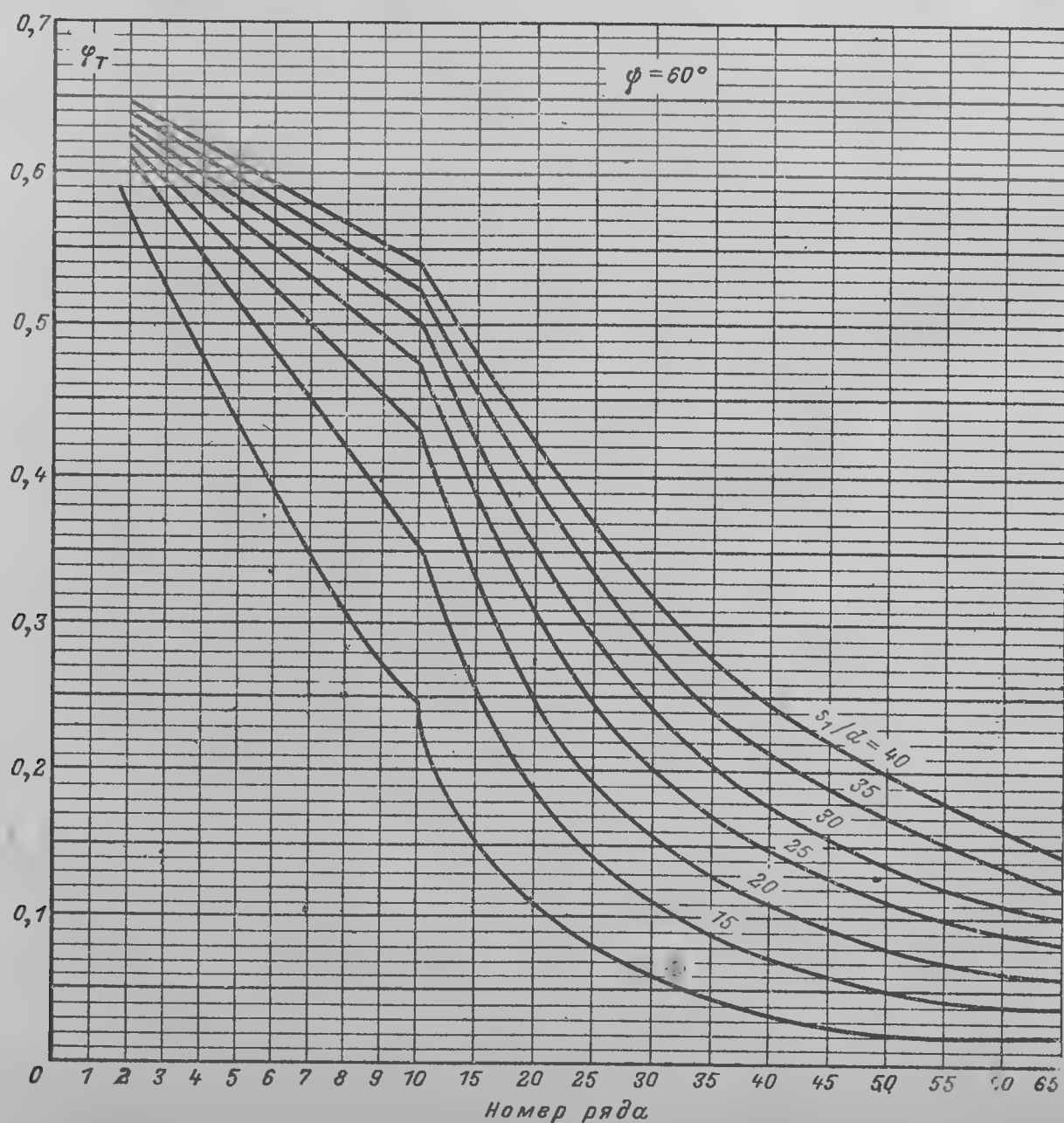
Номограмма 37



a — n -го ряда конвективной поверхности; b — n -го ряда ширмовой поверхности нагрева.

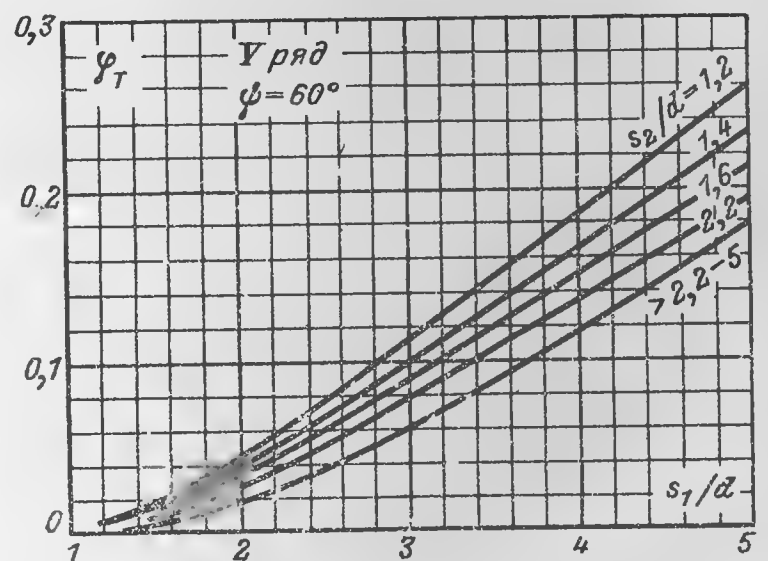
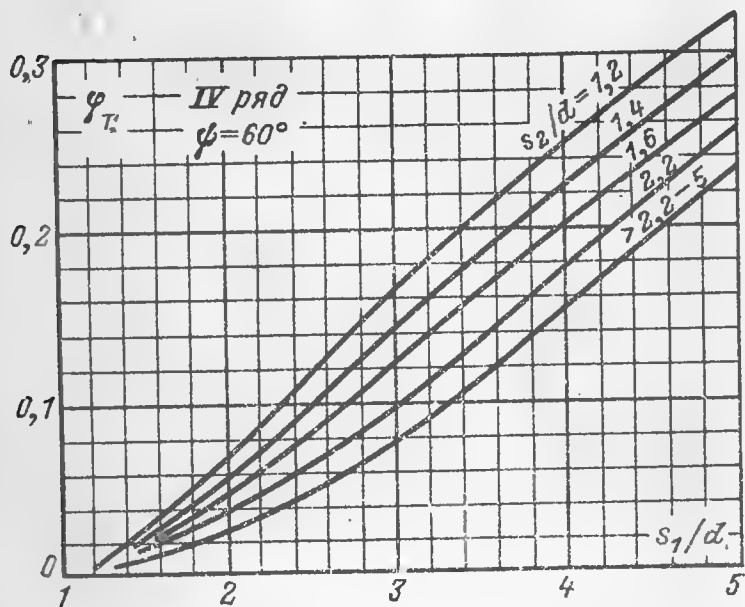
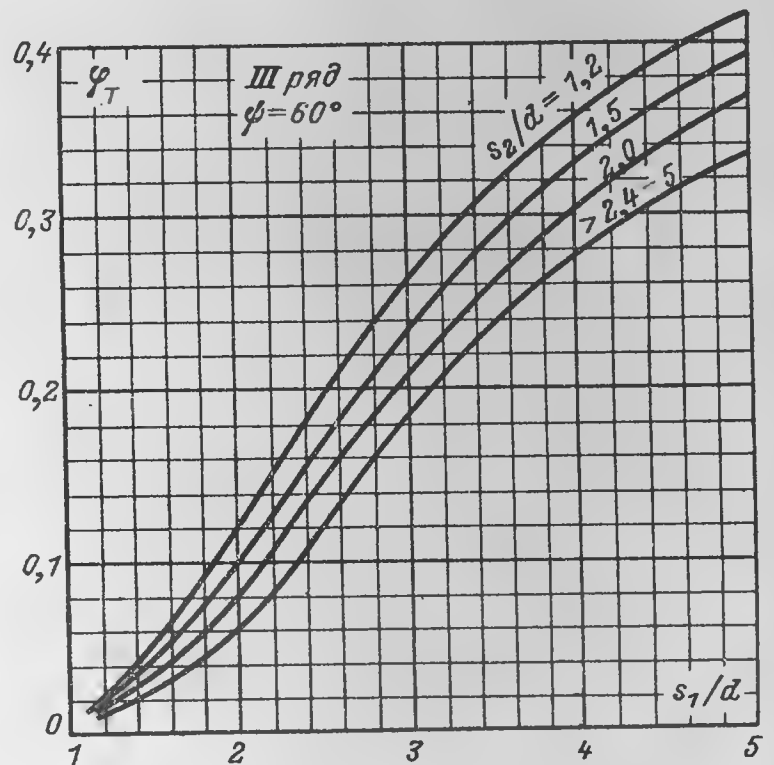
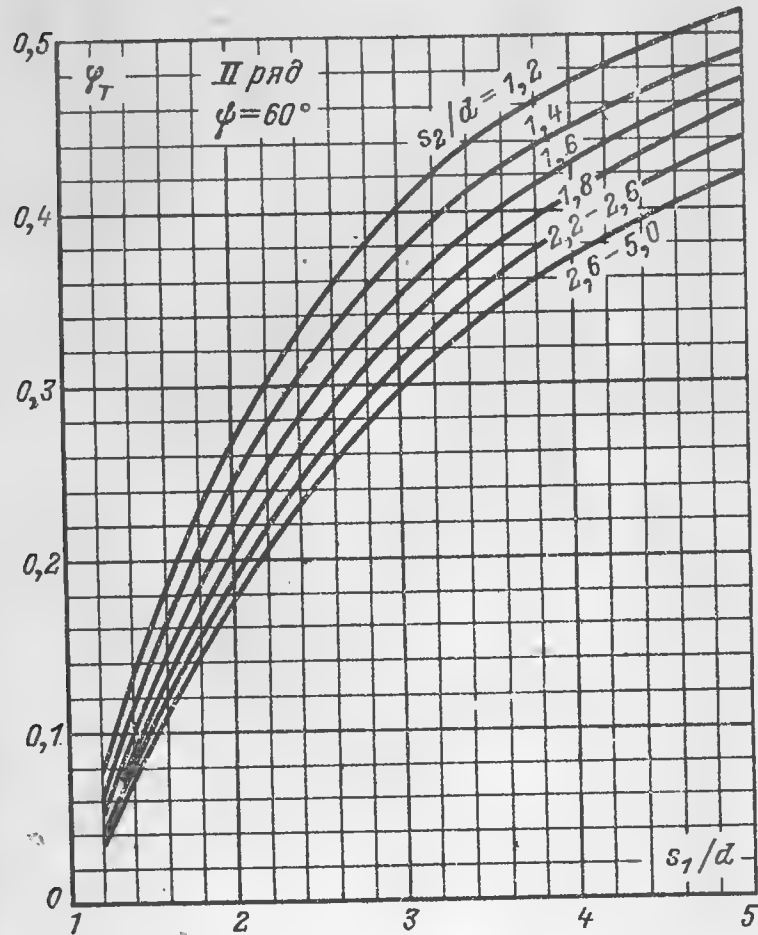
КОЭФФИЦИЕНТ ОБЛУЧЕННОСТИ ТОЧЕК С МАКСИМАЛЬНЫМ ТЕПЛОВОСПРИЯТИЕМ (ДЛЯ ТРУБ ШИРМ)

Номограмма 38



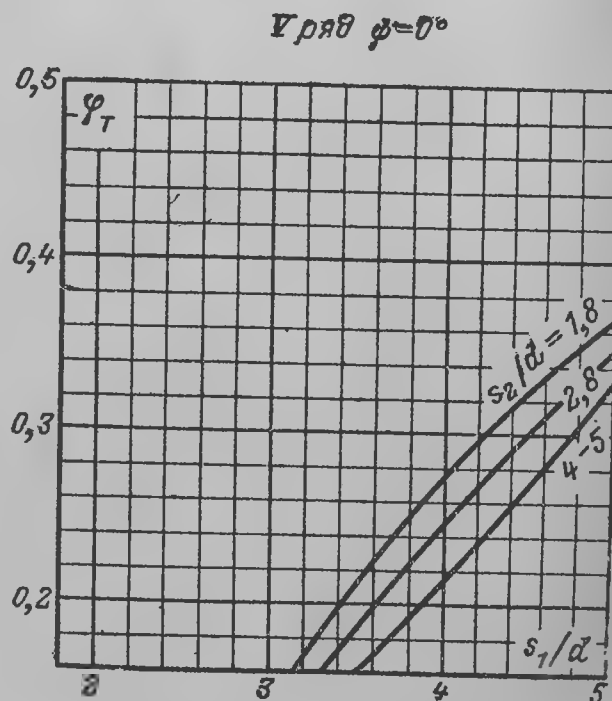
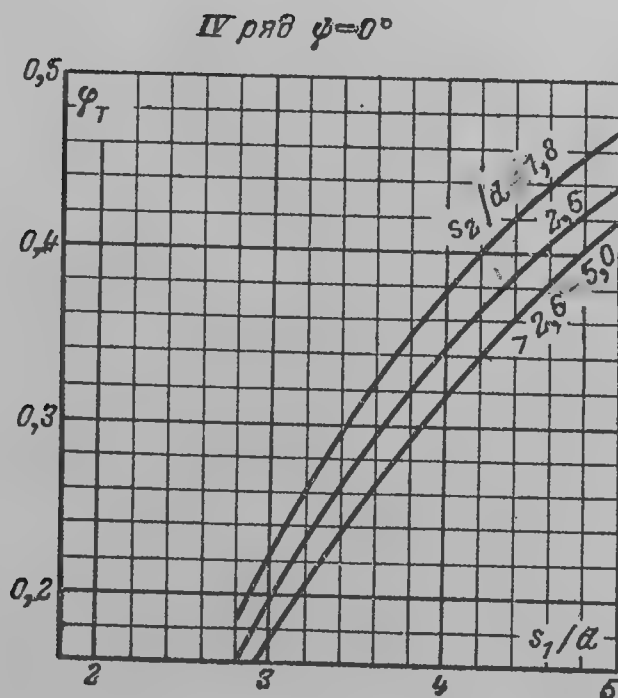
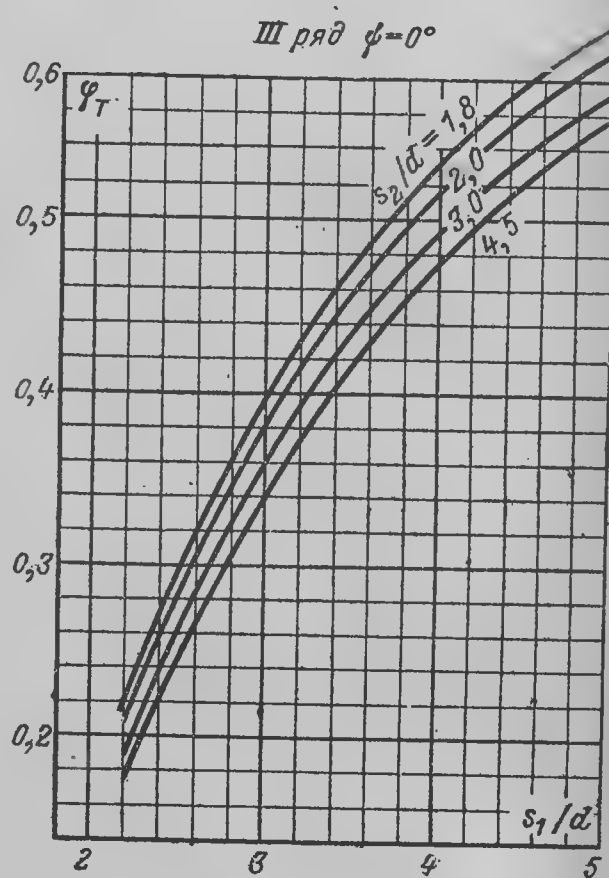
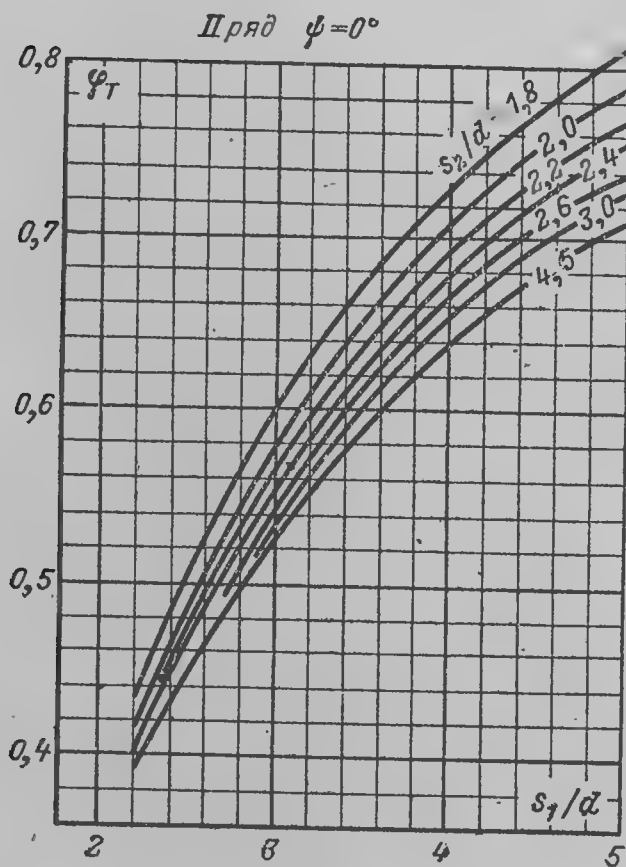
КОЭФФИЦИЕНТ ОБЛУЧЕННОСТИ ТОЧЕК С МАКСИМАЛЬНЫМ
ТЕПЛОВОСПРИЯТИЕМ (ДЛЯ ТРУБ КОРИДОРНЫХ ПУЧКОВ)

Номограмма 39



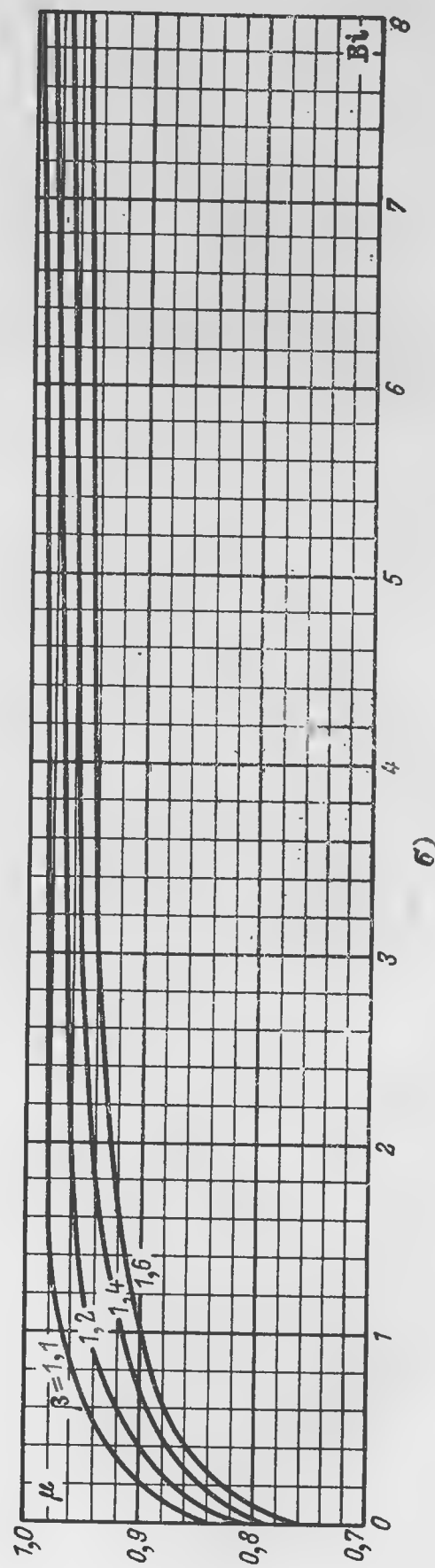
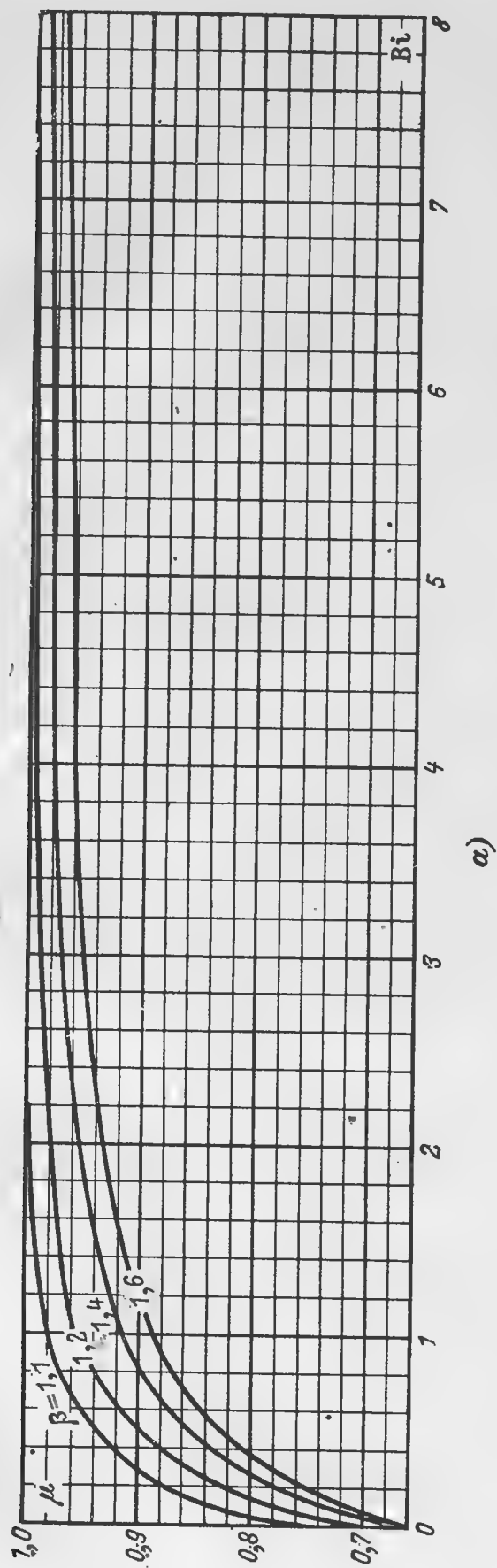
КОЭФФИЦИЕНТ ОБЛУЧЕННОСТИ ТОЧЕК С МАКСИМАЛЬНЫМ
ТЕПЛОВОСПРИЯТИЕМ (ДЛЯ ТРУБ ШАХМАТНЫХ ПУЧКОВ)

Номограмма



КОЭФФИЦИЕНТ РАСТЕЧКИ ДЛЯ ТРУБ КОНВЕКТИВНЫХ
ПОВЕРХНОСТЕЙ НАГРЕВА

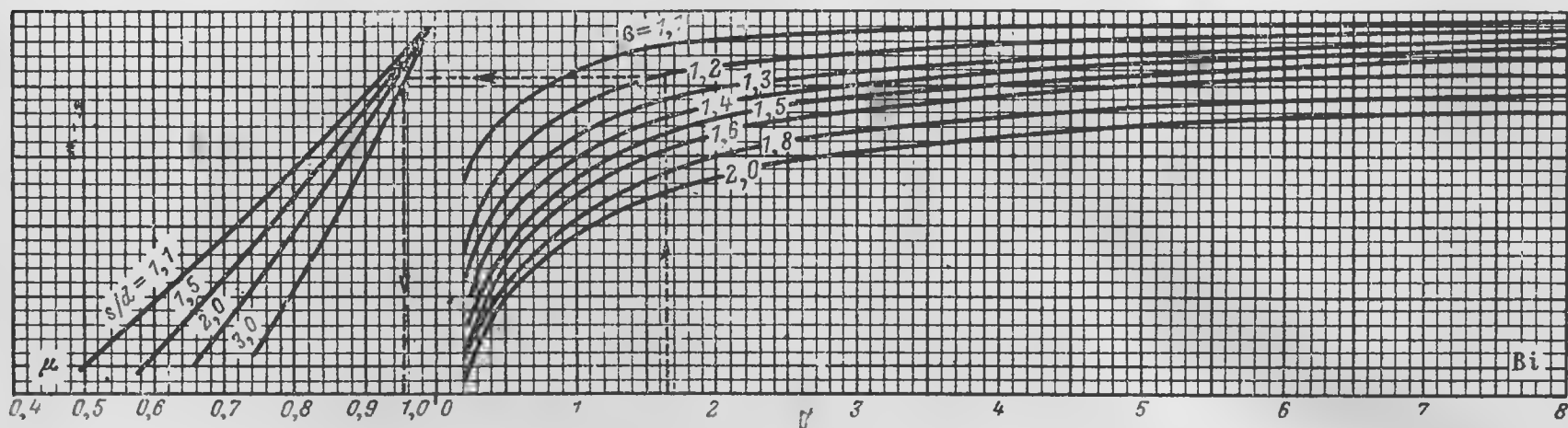
Номограмма 41



а — трубы первого ряда нефестонированного пучка (коридорного или шахматного) и второго ряда фестонированного шахматного пучка; б — трубы третьего (или любого из последующих) ряда шахматного и коридорного пучков.

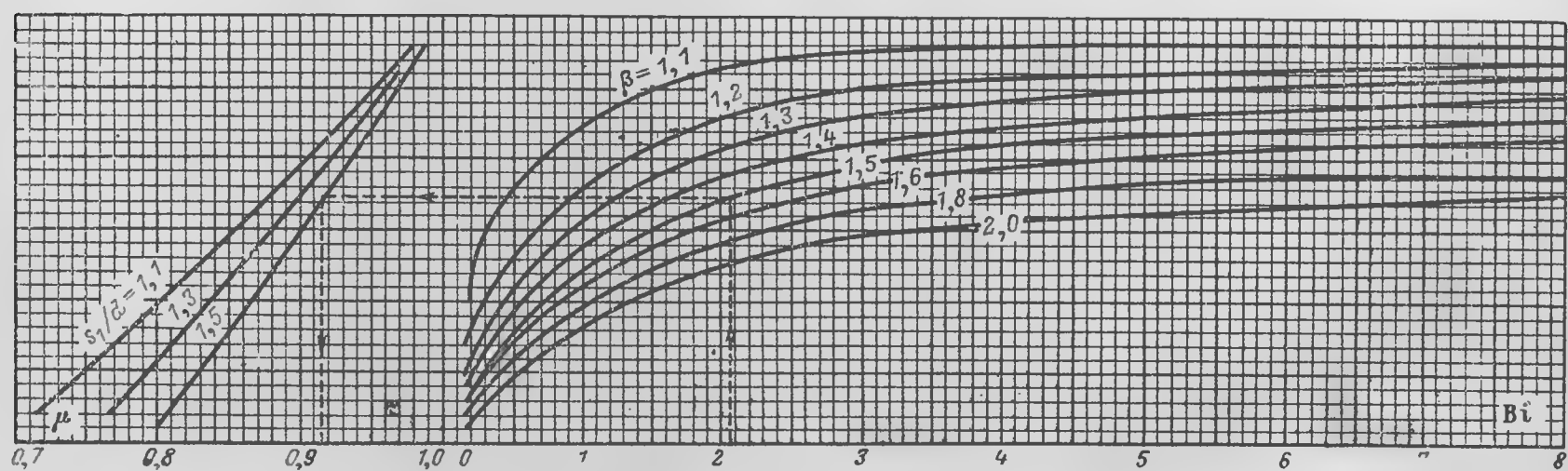
КОЭФФИЦИЕНТ РАСТЕЧКИ ДЛЯ ЭКРАННЫХ ТРУБ ($e \geq 0$)

Номограмма 42

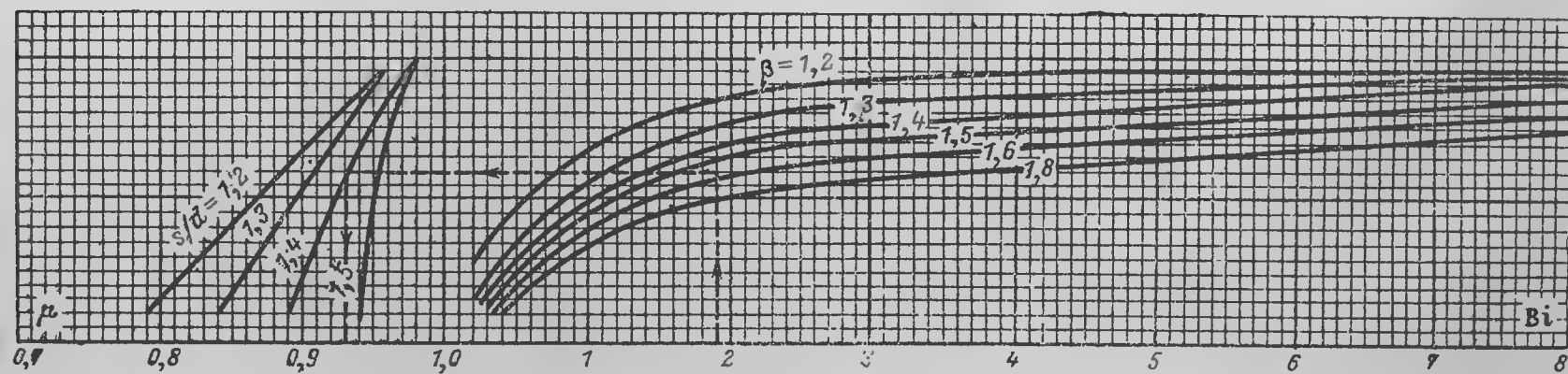
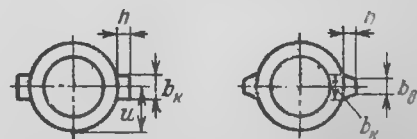


КОЭФФИЦИЕНТ РАСТЕЧКИ ДЛЯ ТРУБ ДВУСВЕТНЫХ ЭКРАНОВ

Номограмма 43

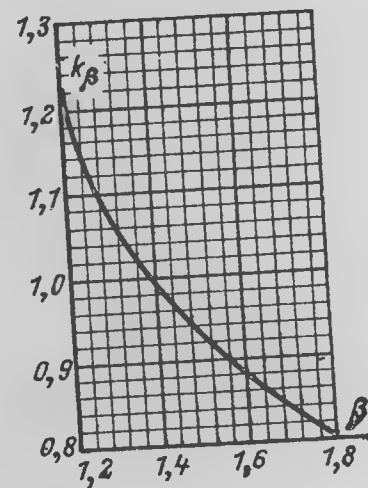
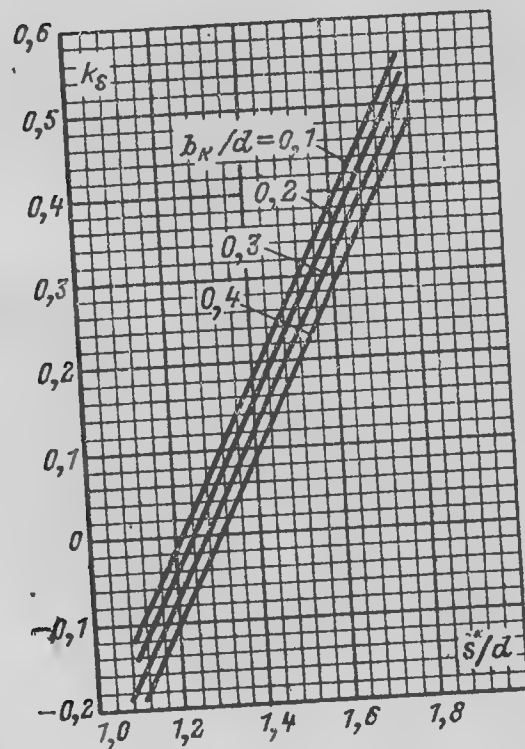
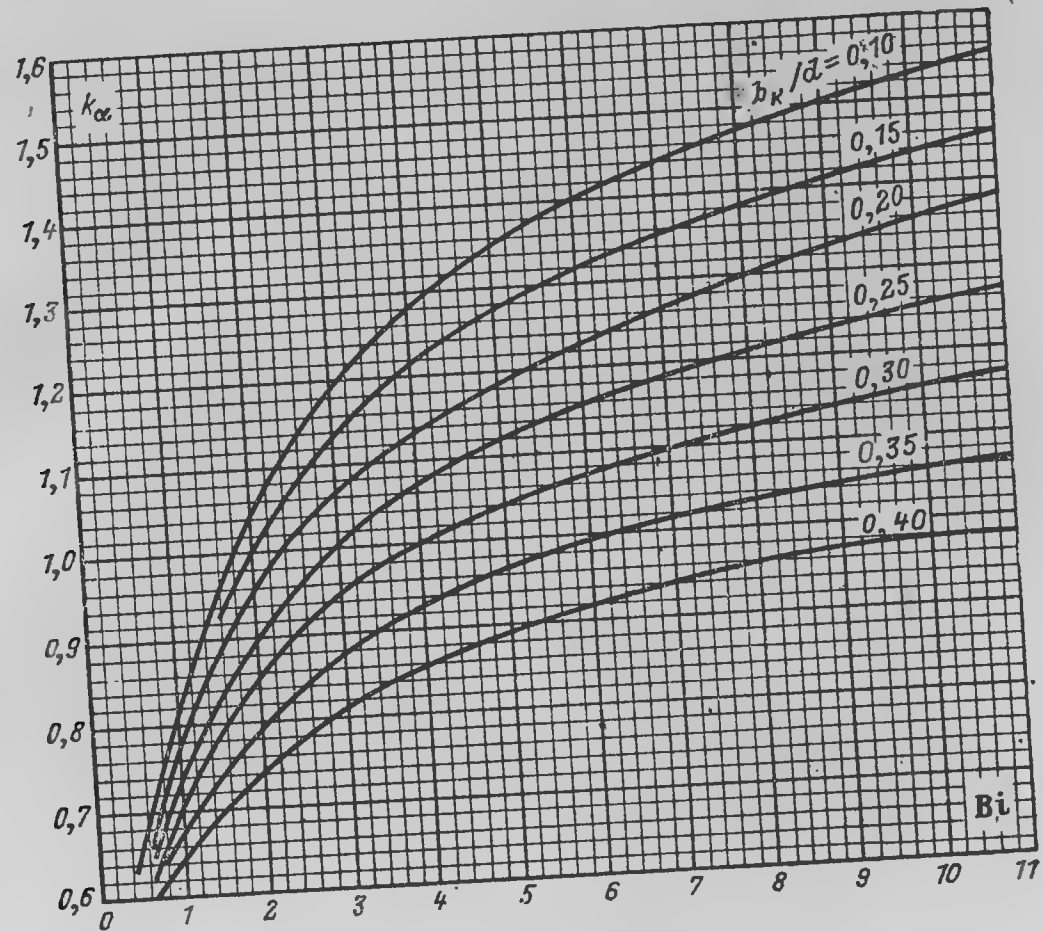
КОЭФФИЦИЕНТ РАСТЕЧКИ В ЛОБОВЫХ ТОЧКАХ
ПЛАВНИКОВЫХ ТРУБ ПРИ ДВУСТОРОННЕМ ОБЛУЧЕНИИ

Номограмма 44



КОЭФФИЦИЕНТ РАСТЕЧКИ В КОРНЕ ПЛАВНИКА РАДИАЦИОННЫХ
ПОВЕРХНОСТЕЙ НАГРЕВА

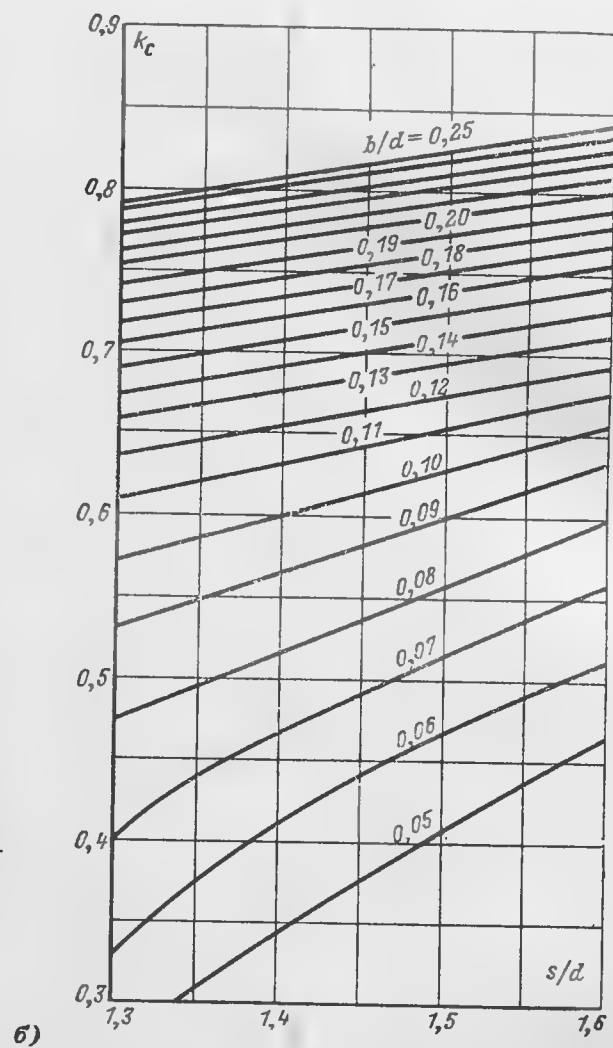
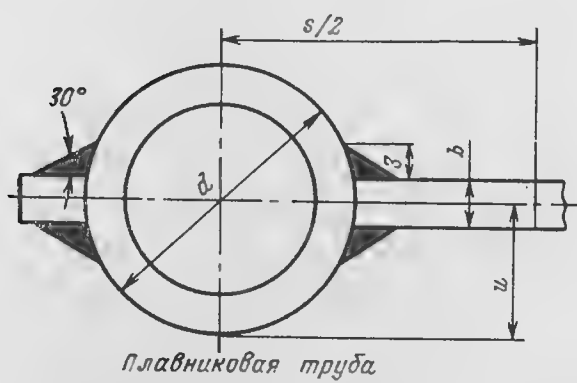
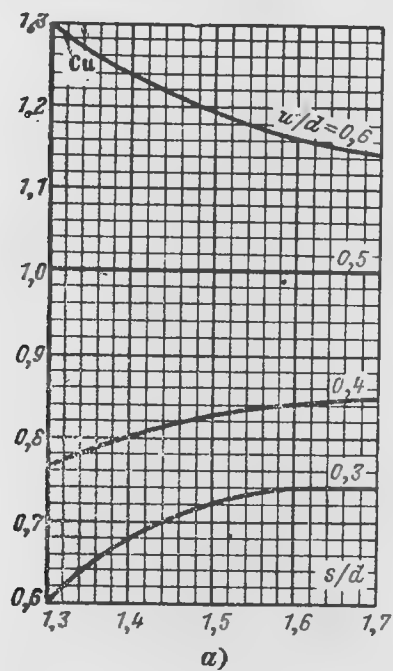
Номограмма 45



$$\mu_k = 0.35 + 0.1b_k/d + k_\alpha k_\beta k_s.$$

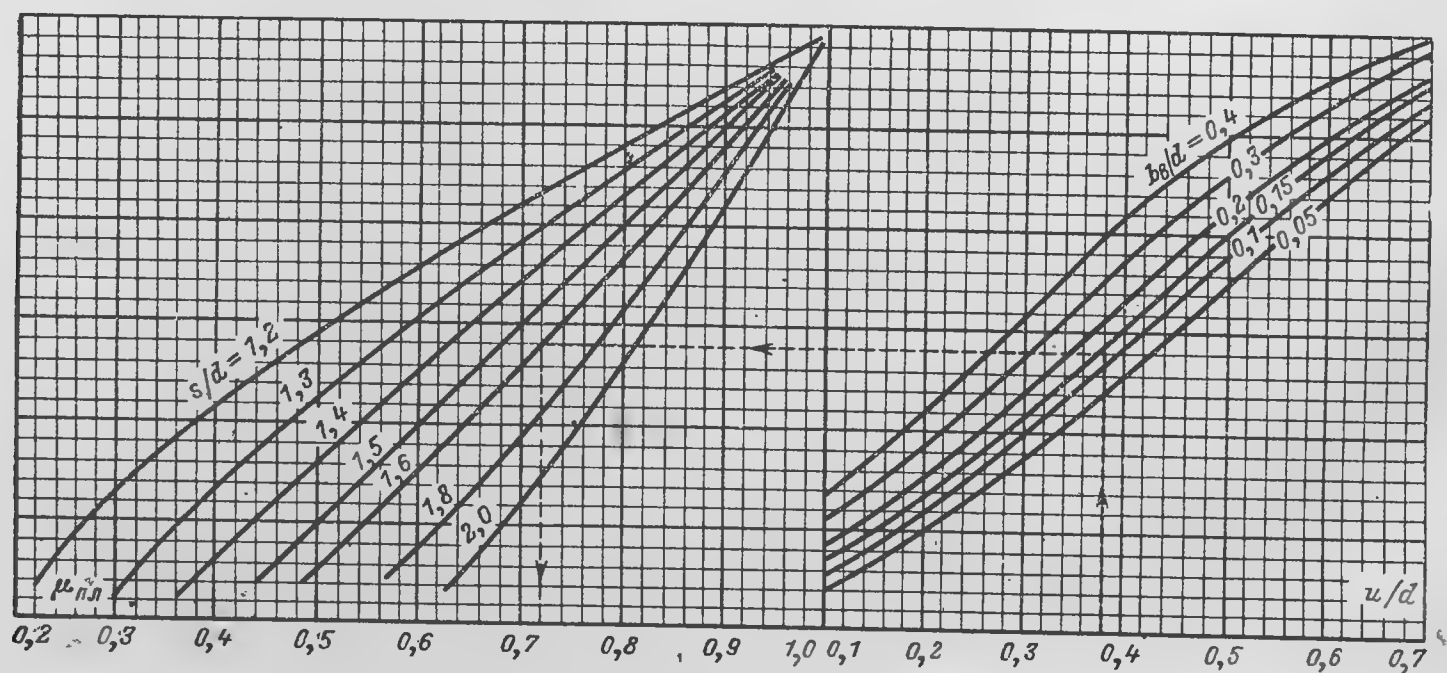
ПОПРАВКА НА СМЕЩЕНИЕ ПЛАВНИКА C_u
КОЭФФИЦИЕНТ УЧЕТА ВЛИЯНИЯ СВАРНЫХ ШВОВ k_c

Номограмма 46а
Номограмма 46б



КОЭФФИЦИЕНТ РАСТЕЧКИ $\mu_{пл}$ В ВЕРШИНЕ ПЛАВНИКА

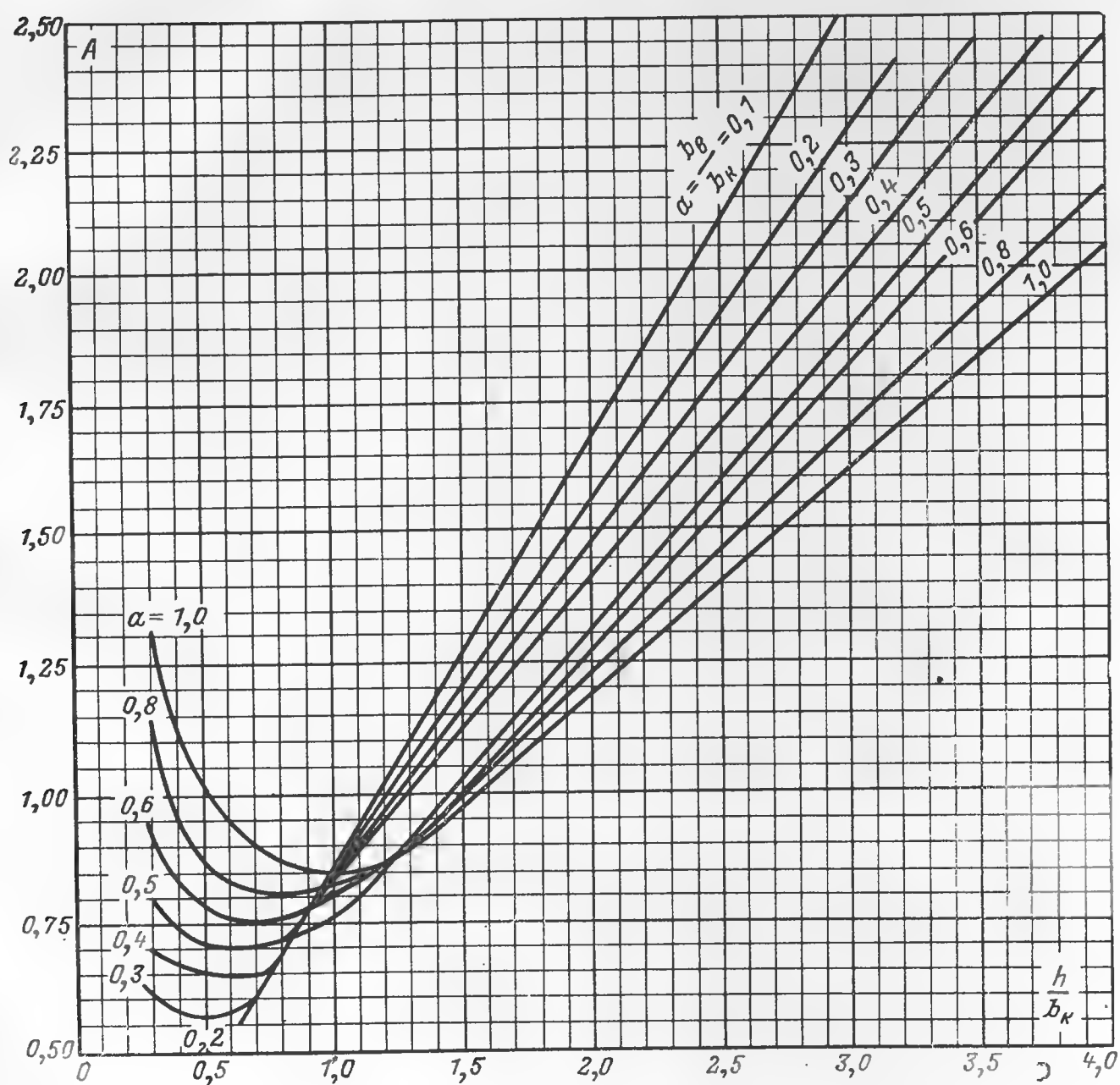
Номограмма 47



46a
466

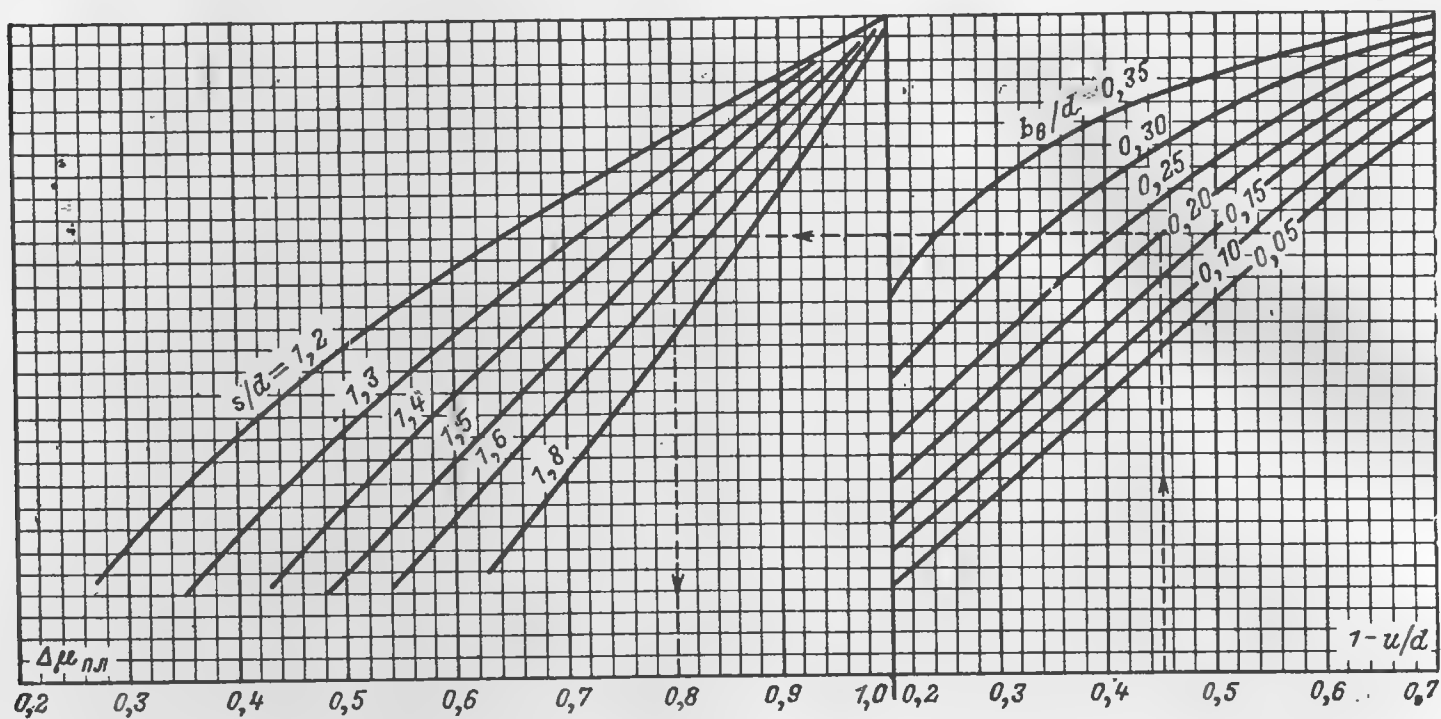
КОЭФФИЦИЕНТ ФОРМЫ ПЛАВНИКА A

Номограмма 48



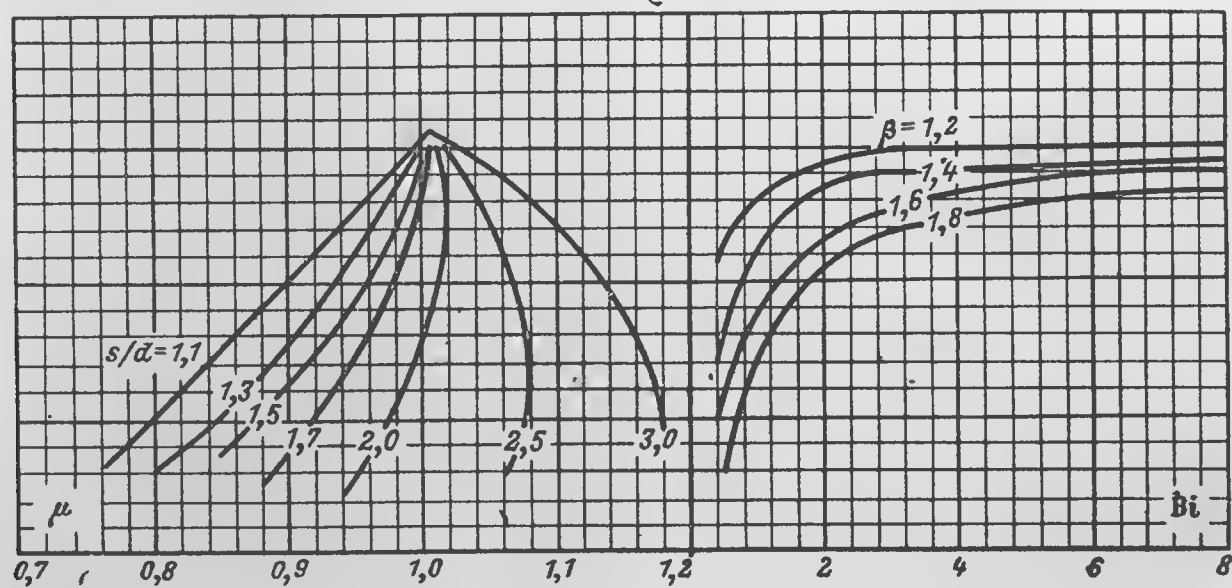
ПОПРАВКА К КОЭФФИЦИЕНТУ РАСТЕЧКИ $\Delta\mu_{пл}$
ПРИ ДВУСТОРОННЕМ ОБЛУЧЕНИИ

Номограмма 49



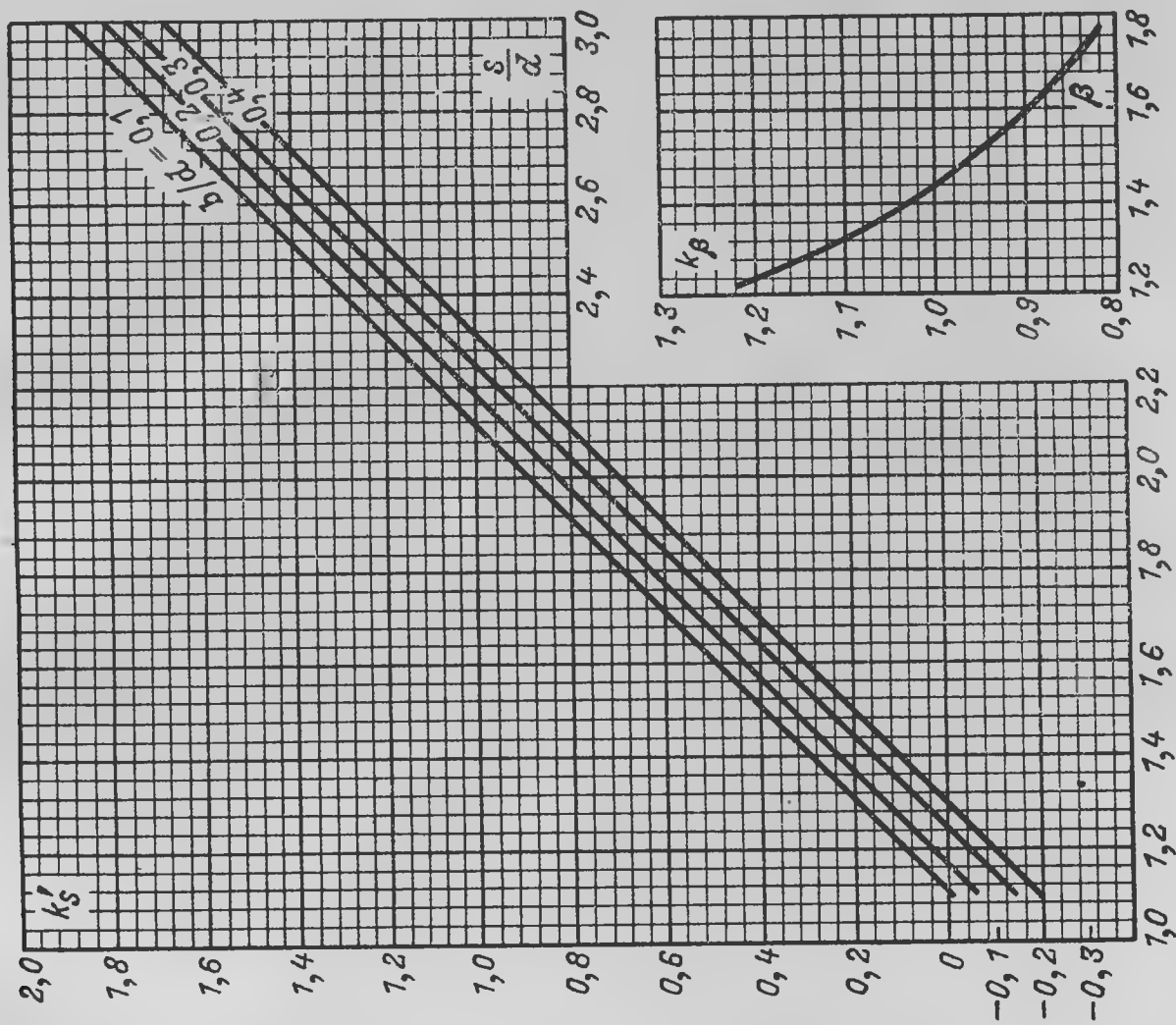
КОЭФФИЦИЕНТ РАСТЕЧКИ В ЛОБОВОЙ ТОЧКЕ ПЛАВНИКОВЫХ ТРУБ
ПРИ КОНВЕКТИВНОМ ТЕПЛОВОСПРИЯТИИ

Номограмма 50

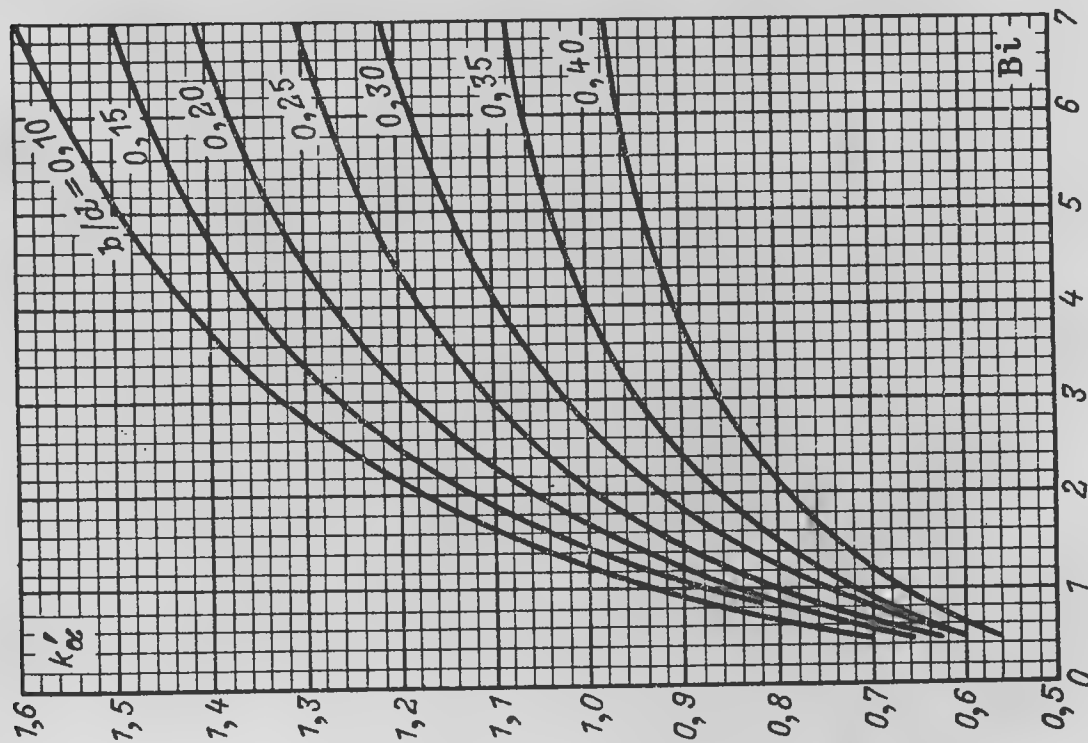


КОЭФФИЦИЕНТ РАСТЕЧКИ В КОРНЕ ПЛАВНИКА
ПРИ КОНВЕКТИВНОМ ТЕПЛОСПРИЯТИИ

Номограмма 51

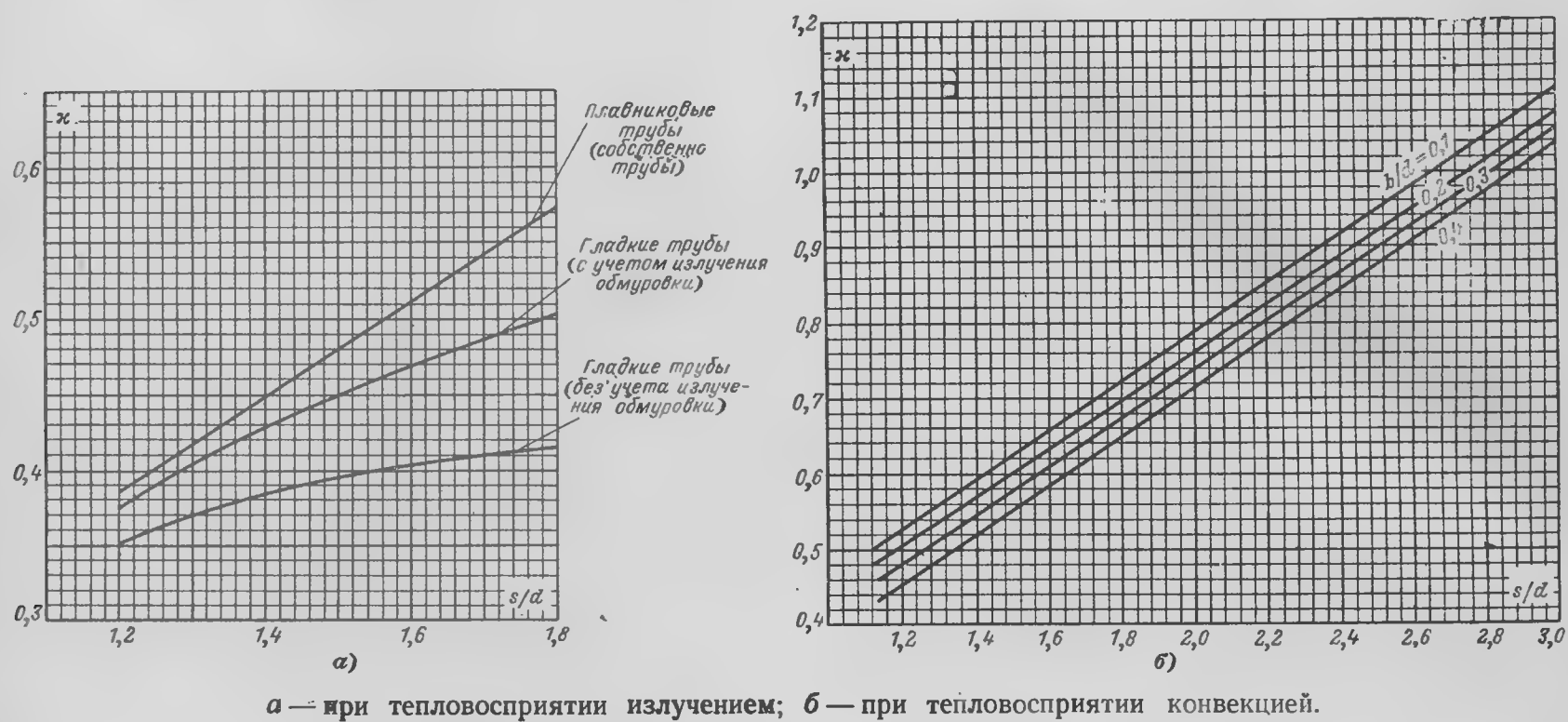


$$\mu_k = 0,49 + k'_s k'_p k'_a$$

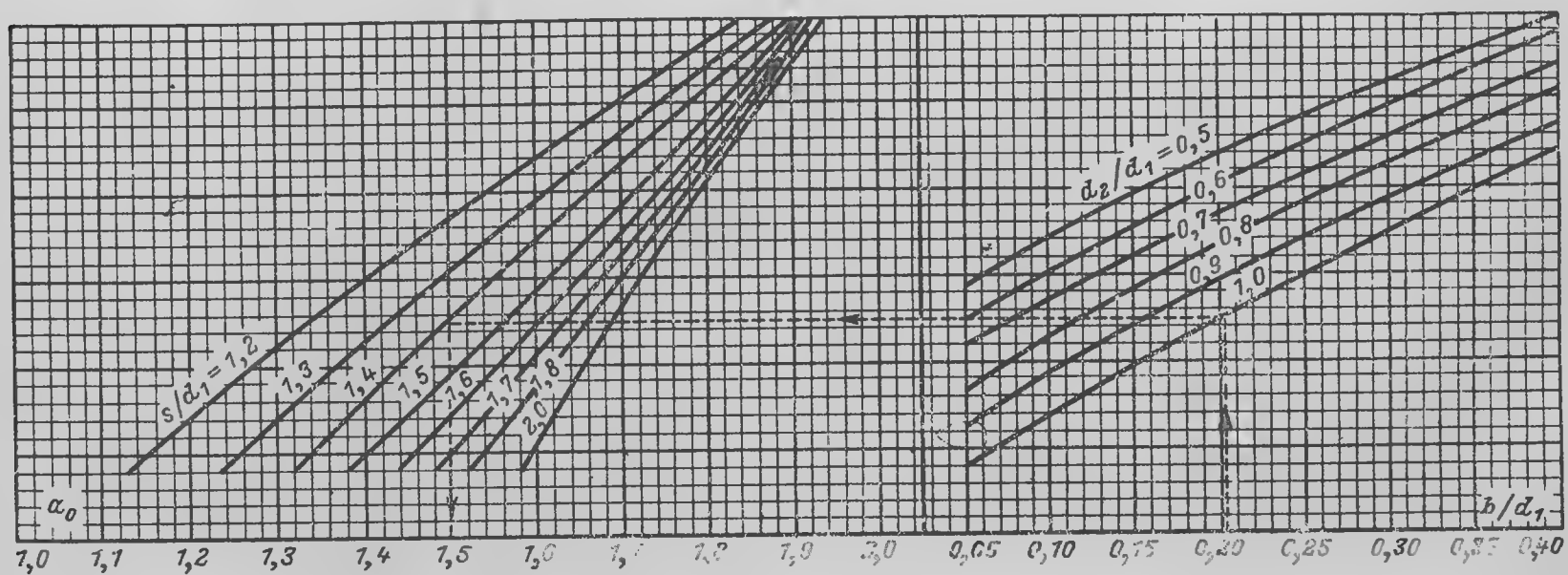


ОТНОСИТЕЛЬНАЯ СРЕДНЯЯ ТЕПЛОВАЯ НАГРУЗКА
ПЛАВНИКОВОЙ ТРУБЫ (БЕЗ УЧЕТА ПЛАВНИКОВ)

Номограмма 52

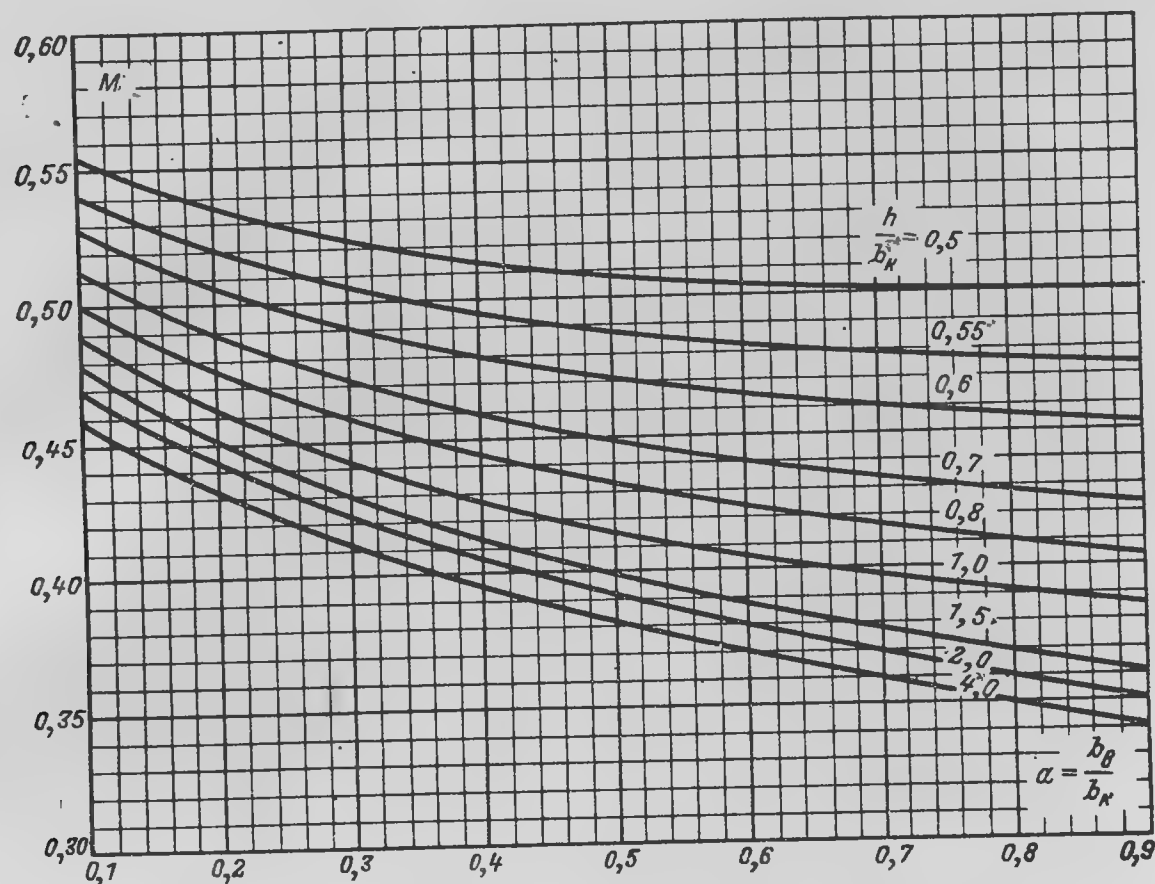
ПАРАМЕТР α_0

Номограмма 53



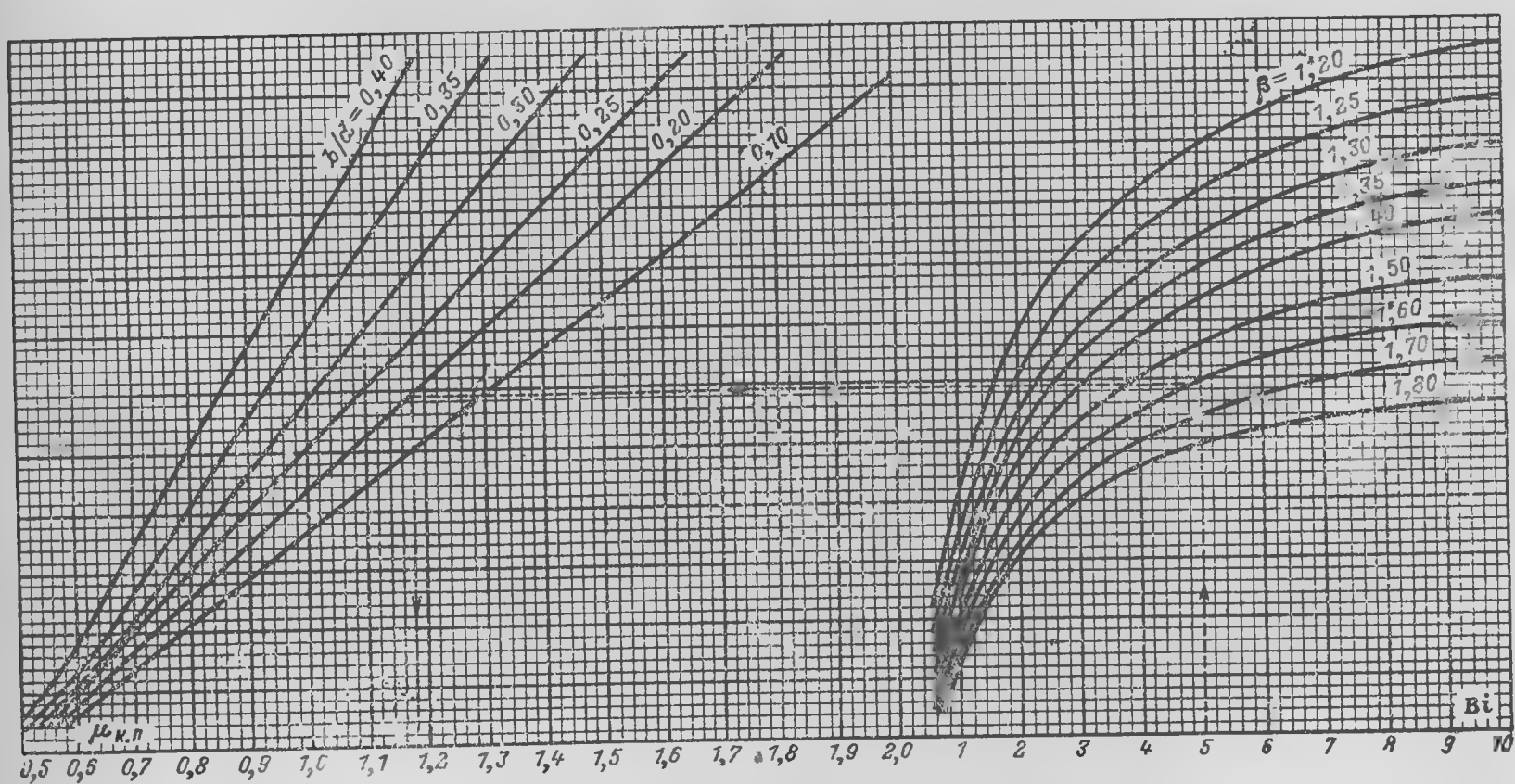
КОЭФФИЦИЕНТ M

Номограмма 54



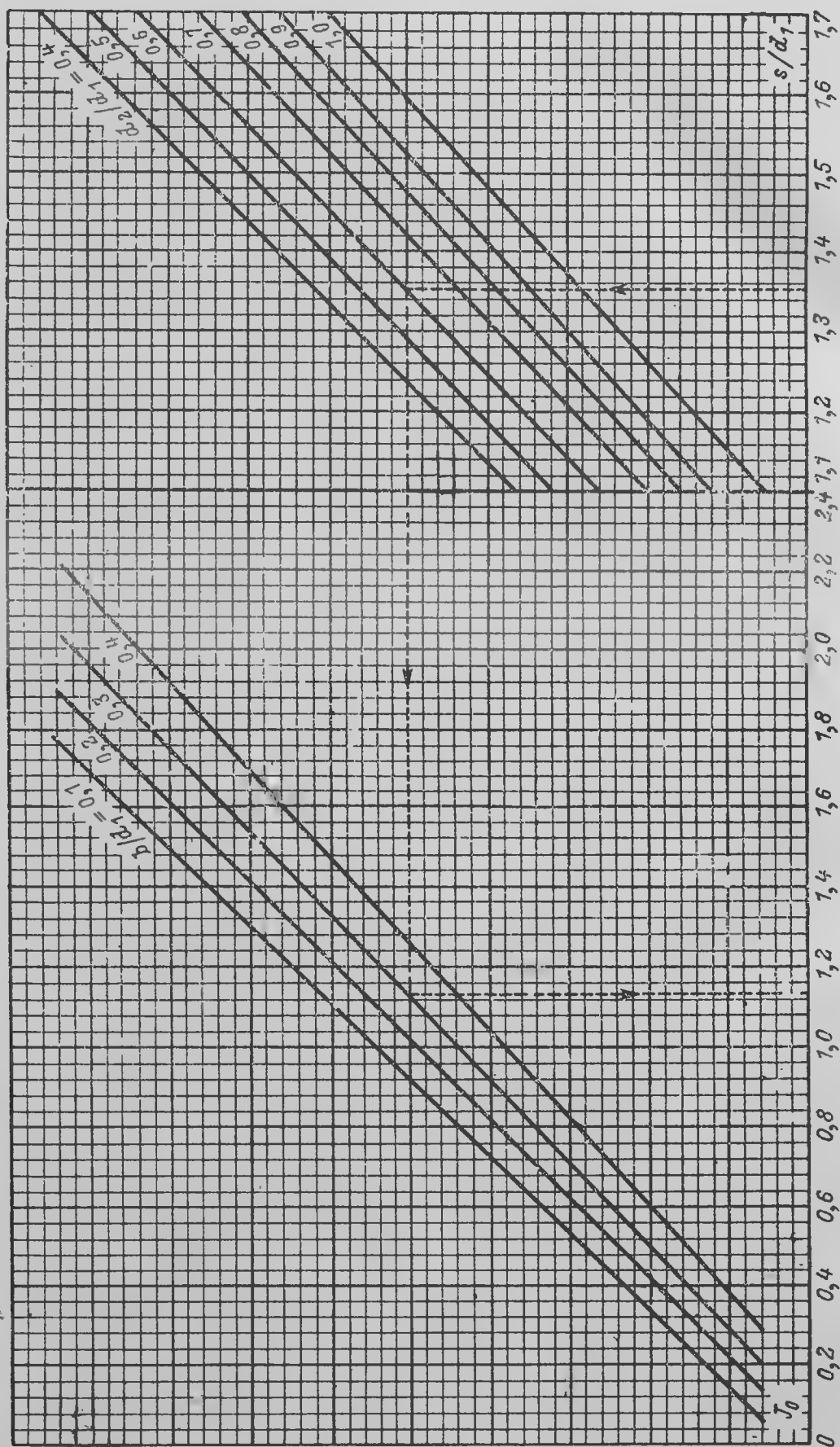
КОЭФФИЦИЕНТ РАСТЕЧКИ $\mu_{к.п}$ В КОРНЕ ПЕРЕМЫЧКИ

Номограмма 55



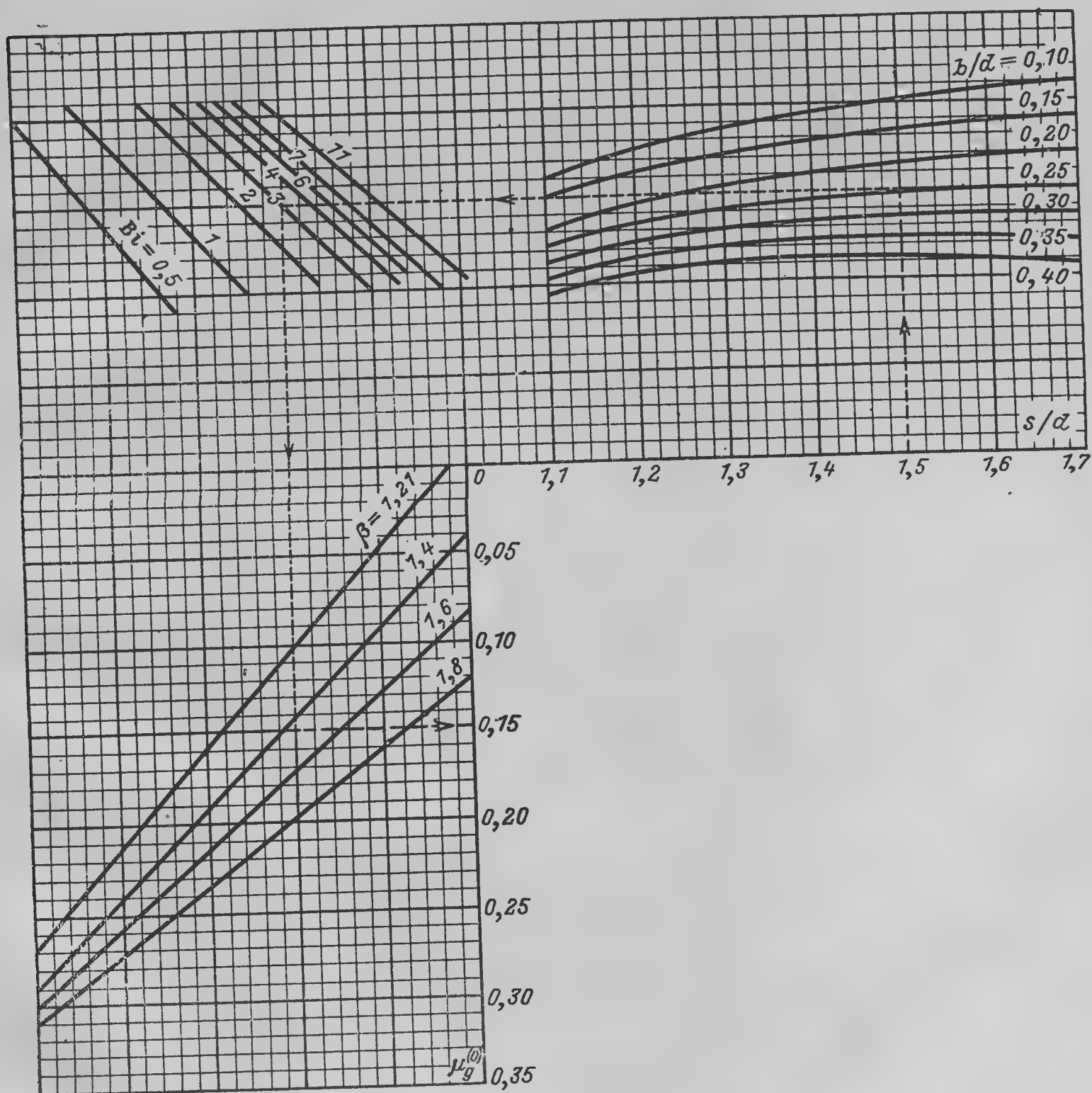
КОЭФФИЦИЕНТ I_0

Номограмма 56



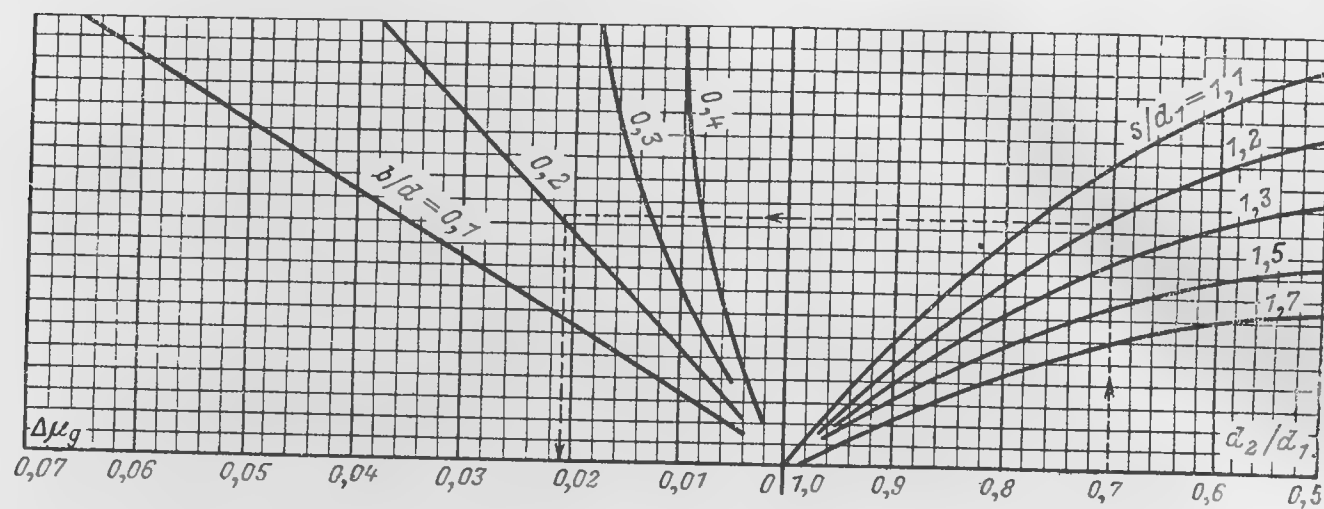
КОЭФФИЦИЕНТ РАСТЕЧКИ $\mu_d^{(0)}$ (ДЛЯ ТРУБ РАВНЫХ ДИАМЕТРОВ)

Номограмма 57

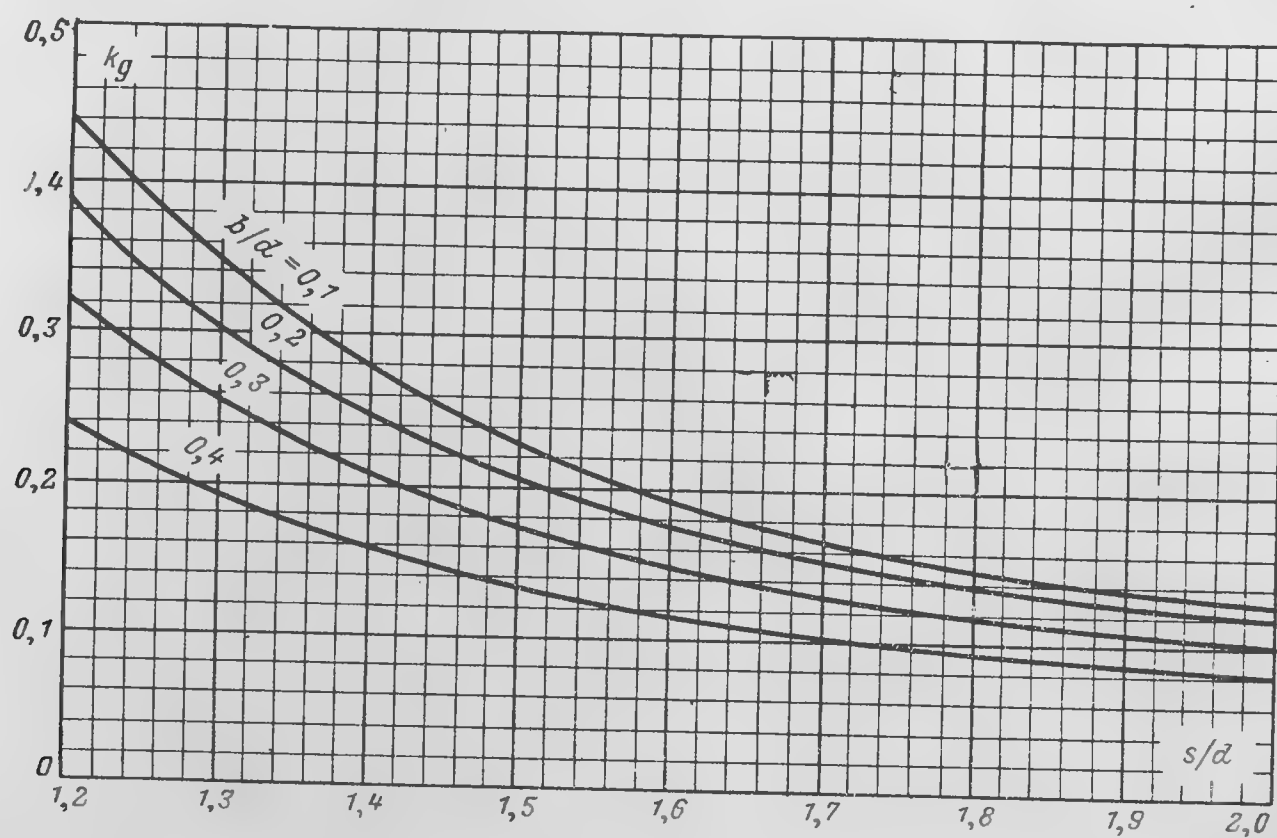


ПОПРАВКА $\Delta\mu_d$ К КОЭФФИЦИЕНТУ РАСТЕЧКИ $\mu_d^{(0)}$

Номограмма 58

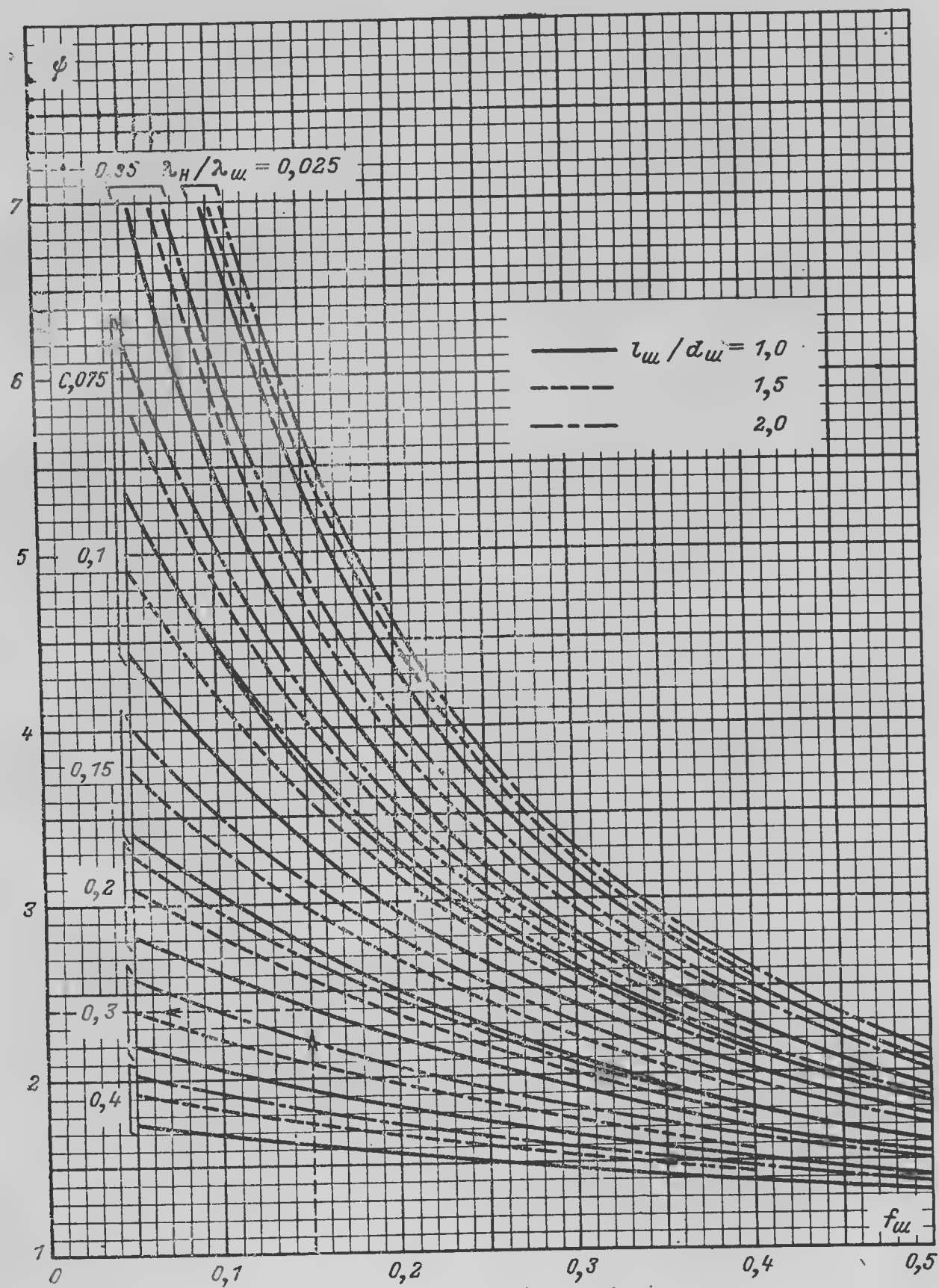
КОЭФФИЦИЕНТ k_d

Номограмма 59



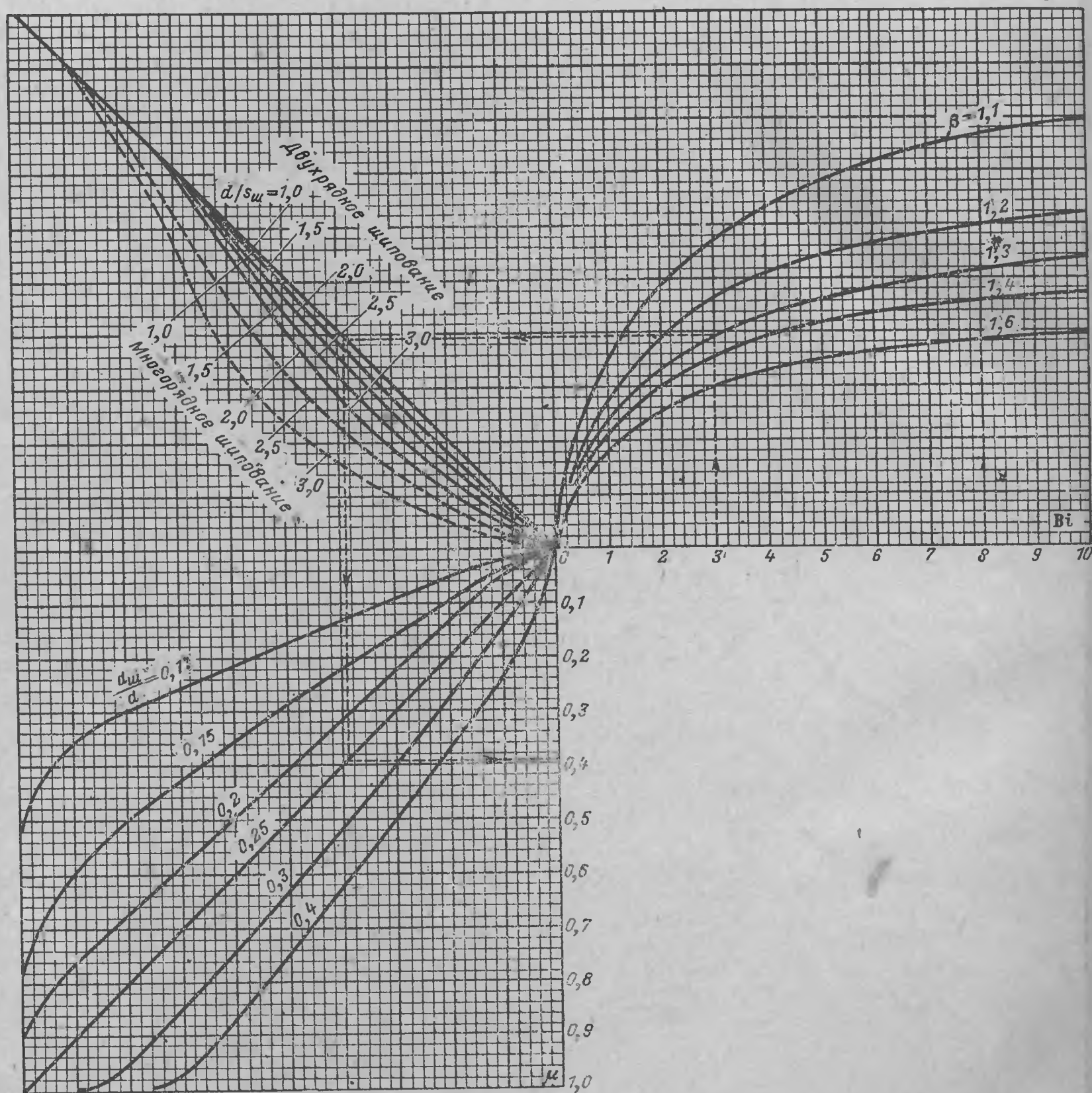
КОЭФФИЦИЕНТ КОНЦЕНТРАЦИИ ТЕПЛОВОГО ПОТОКА В НОЖКЕ ШИПА

Номограмма 60



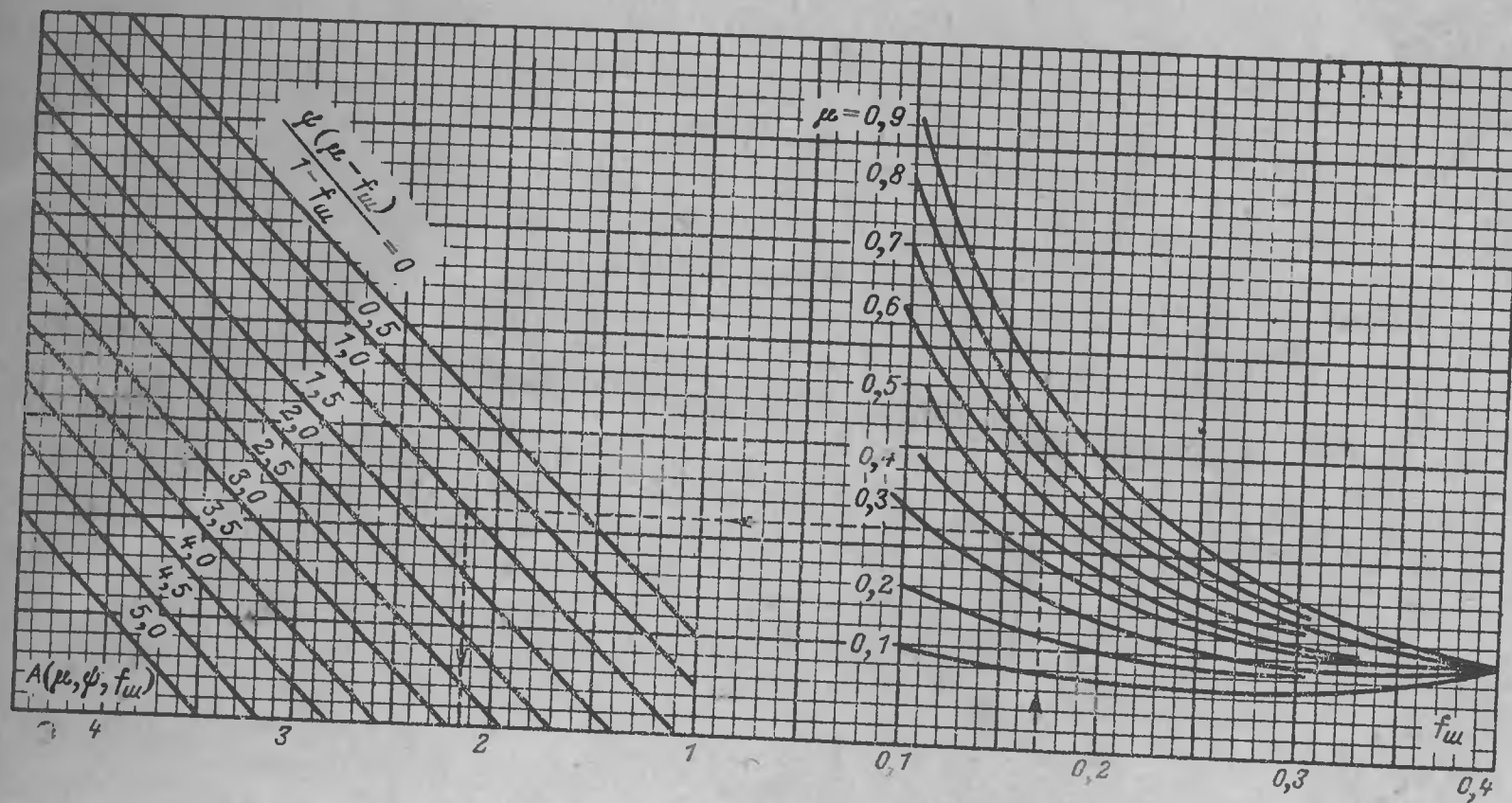
КОЭФФИЦИЕНТ РАСТЕЧКИ ДЛЯ ОШИПОВАННОЙ ТРУБЫ

Номограмма 61



КОМПЛЕКС А

Номограмма 62



СПИСОК ОПЕЧАТОК

Стр.	Колонка	Строка	Напечатано	Следует читать
78	Правая	Ф-ла (III-13)	$кк\lambda\lambda/(м^2 \cdot ч \cdot ^\circ C)$	$кк\lambda\lambda/(м^2 \cdot ч)$
83	Левая	Рис. VI-1	H_{pz} до 14-го ряда	H_{pz} отсчитывается до точки А (до 15-го ряда)
145	4	5 и 19 сверху	I_r	I'
148	Правая	3 сверху	$C_m = \frac{1}{1 + \omega^{0,4}}$	$C_m = \frac{1}{(1 + \omega)^{0,4}}$
150	Правая	15 снизу	$\frac{1}{\varphi} Q_n$	$\frac{1}{\varphi} Q_g$
197	13	3 сверху	13 522	13 822

Т 34

ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ КОТЕЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ

НОРМАТИВНЫЙ МЕТОД